



# **Käytäväharvennuksen ajanmenekki ja tuottavuus**

Reima Karjalainen  
Maisterintutkielma  
Helsingin yliopisto  
Metsätieteiden maisteriohjelma  
Metsien ekologia ja käyttö  
Marraskuu 2019

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Metsätieteiden osasto, metsätieteiden maisteriohjelma	
Tekijä – Författare – Author Reima Karjalainen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Käytäväharvennuksen ajanmenekki ja tuottavuus			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Metsäteknologia ja logistiikka			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma		Aika – Datum – Month and year Marraskuu 2019	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 66
<p>Tiivistelmä/Referat – Abstract</p> <p>Kotimaisten metsien puuvaranto ja kasvu ovat suurempia kuin koskaan aiemmin. Valtakunnan metsien 12. inventoinnissa vuosina 2014 – 2017 mitattu puuston määrä oli 2,5 miljardia kuutiometriä ja vuotuinen kasvu 107,0 miljoonaa kuutiometriä. Tulokset osoittivat, että metsänuudistamisesta huolehdittiin hyvin, mutta taimikonhoidossa ja ensiharvennuksissa oli kuitenkin edelleen puutteita. Taimikonhoidon myöhästymiset lisääntyivät noin 11 % verrattuna edelliseen inventointiin 2009 – 2013. Taimikonhoidon ja nuorten metsien harvennushakkuiden kustannukset ovat korkeat. Perinteisen valikoivan alaharvennuksen sekä metsäkuljetuksen kustannukset ovat yli puolet nuoren metsän korjuun kustannuksista. Metsänhoidon kustannuksien laskeminen onkin yksi tärkeimmistä tavoitteista metsätaloudessamme. Käytäväharvennustyömenetelmällä olisi mahdollista edistää puun- ja energianpuun korjuuta kustannustehokkaasti.</p> <p>Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää käytäväharvennusmenetelmän ajanmenekkiä ja tuottavuutta mäntyvaltaisen ensiharvennuspuuston koneellisessa puunkorjuussa käytössä oleville hakkuukoneteknologioille sekä verrata tuottavuutta ja yksikkökustannuksia perinteiseen valikoivaan alaharvennukseen. Tutkimus tehtiin Luonnonvarakeskuksen (LUKE) kehittämishankkeesta, jossa tutkittiin käytäväharvennusta korjuumenetelmänä nuorten männiköiden ensimmäiseen koneelliseen harvennukseen. Käytäväharvennuksen kehittämishanke toteutettiin vuosina 2017–2018 ja se kuului Pohjois-Karjalan, Keski-Suomen ja Pohjois-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelmiin vuosina 2014–2020. Tavoitteena oli metsävarojen kestävä hyödyntäminen ja uusiutuvan energian tuotannon tukeminen.</p> <p>Tutkimus tehtiin Konneveden tutkimusleimikon aikatutkimus- ja puustoaineistosta. Tutkimuksessa mitattiin työvaiheiden ajanmenekit kolmesta erilaisesta harvennuskäsittelystä, käytäväharvennus, jossa käytävän paikka oli ohjeellisesti merkitty sekä käytäväharvennus, jossa kuljettaja valitsi käytävän paikan ja verrattiin näitä perinteiseen valikoivaan alaharvennukseen. Konneveden tutkimusleimikossa käytettiin Ponsse Beaver - harvesteria, joka oli varustettu Ponsse H6 - harvesteripäällä. Harvennuskäsittelyt tehtiin yksipuinkäsittelyinä.</p> <p>Aika- ja vertailututkimus osoitti, että käytäväharvennusmenetelmä oli tuottavampi ja edullisempi korjuumenetelmä verrattuna perinteiseen valikoivaan alaharvennukseen. Käytäväharvennuskäsittelyllä M2, joissa käytävän ohjeellinen paikka oli merkitty, tehotuntituottavuus <math>E_o</math> oli 18 % suurempi kuin perinteisellä valikoivalla harvennustavalla, kun poistettujen runkojen keskitilavuus oli käytäväharvennuskoealoilla M2 oli noin 18 % suurempi. Käytäväharvennuskäsittelyllä M3, joissa kuljettaja valitsi käytävän paikan, tuottavuus <math>E_o</math> oli 4,5 % pienempi kuin perinteisellä valikoivalla harvennuskäsittelyllä, kun poistettujen runkojen keskitilavuus oli 26 % pienempi kuin muilla harvennuskäsittelyillä. Käytäväharvennusmenetelmien yhteinen keskituottavuus <math>E_o</math> oli 6,7 % suurempi kuin alaharvennusmenetelmällä. Tilastollisissa analyyseissä havaittiin, että harvennusmenetelmien tuottavuuden eroja selitti merkittävästi ainoastaan rungon koko, joka oli suurempi käytäväharvennuksilla, etenkin käsittelyssä M2. Käytäväharvennusmenetelmän M2 yksikkökustannukset €/m<sup>3</sup> olivat 15 % edullisemmat verrattuna alaharvennusmenetelmään. Käytäväharvennusmenetelmän M3 yksikkökustannuksien €/m<sup>3</sup> keskiarvo oli 5 % suurempi kuin alaharvennusmenetelmällä M1 ja 20 % suurempi kuin käytäväharvennusmenetelmällä M2.</p> <p>Tämän tutkimuksen johtopäätös oli, että käytäväharvennus on tuottava ja kehittämisen arvoinen menetelmä nuorten metsien ensimmäiseen harvennukseen. Käytäväharvennusmenetelmällä on mahdollista alentaa ensiharvennusmetsien korjuukustannuksia. Aikaisempaan tutkimustietoon verrattuna päätulokset olivat samansuuntaisia, joissa oli saavutettu 16 % suurempi tuottavuus tai voitaisiin tutkimusten mukaan saavuttaa jopa kaksinkertainen tuottavuus käytäväharvennukseen varta vasten kehitetyllä teknologialla.</p>			
<p>Avainsanat – Nyckelord – Keywords Käytäväharvennus, valikoiva harvennus, aikatutkimus, liiketutkimus, tuottavuus, käyttötuntituottavuus, tehotuntituottavuus</p>			
<p>Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Yrjö Nuutinen, Bo Dahlin, Veli-Pekka Kivinen</p>			
<p>Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Viikin Tiedekirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) <a href="https://ethesis.helsinki.fi">ethesis.helsinki.fi</a></p>			
<p>Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information</p>			

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Metsätieteiden osasto, metsätieteiden maisteriohjelma	
Tekijä – Författare – Author Reima Karjalainen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Käytäväharvennuksen ajanmenekki ja tuottavuus			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Metsäteknologia ja logistiikka			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma		Aika – Datum – Month and year Marraskuu 2019	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 66
Tiivistelmä/Referat – Abstract			
<p>Wood reserves and growth in Finland's forests are greater than ever. The 12th National Forest Inventory (NFI12) 2014–2017 measured the volume of trees at 2.5 billion cubic meters and the annual growth rate at 107 million cubic meters. The results showed that forest regeneration was well managed, but there was room for improvement in the care of seedlings and young stands. The late tending of seedling stands increased about 11% compared to the previous NFI11 inventory in 2009–2013. Costs of tending seedling stands and for first thinning in young stands are high. Harvesting costs for thinning from below methods including forest haulage constitute over half of all expenses. Reducing forest management costs is one of the most important goals in Finnish forestry. Using a boom-corridor thinning method would improve the cost-effectiveness of harvesting timber and wood bioenergy.</p> <p>The purpose of this study was to examine the time required for boom-corridor thinning methods and productivity of the mechanical first thinning in young pine forests in the existing harvesting technologies and well as to compare the productivity and costs of harvesting to the traditional practice of thinning from below. The study was performed for a project of the Natural Resources Institute Finland (LUKE) that studied boom-corridor thinning as a harvesting method for the first mechanical thinning of young Scots pines. The boom-corridor thinning development project was implemented in 2017–2018 as part of the rural development plans for North Karelia, Central Finland, and Northern Finland in 2014–2020. The objective was to sustainably manage forest resources and support renewable energy production.</p> <p>Study was made of Konnevesi test stands' time study material and the tree database. The study compared the time required by three thinning methods: boom-corridor thinning in which the corridor location was tagged beforehand, boom-corridor thinning in which the operator selected the corridor location, and traditional thinning from below. A Ponsse Beaver harvester equipped with a Ponsse H6 harvester head was used in the Konnevesi test stands to thin by single tree harvesting.</p> <p>Time study and comparative research shows that boom-corridor thinning was more productive and economical than traditional thinning from below. For boom-corridor thinning method M2, in which the location of a corridor was tagged, the productivity <math>E_0</math> was 18% higher than the traditional thinning from below method, when the average density of the removed trees were 18 % bigger than harvesting from below. For boom-corridor thinning method M3, in which the operator chose the location of a corridor, the productivity <math>E_0</math> was 4,5% lower than the traditional thinning from below method, when the average density of the removed trees was 26% lower than the other thinning methods. For boom-corridor thinning methods M2 and M3, productivity <math>E_0</math> was 6,7% higher than the traditional thinning from below method. The statistical analysis shows that the differences between the harvesting methods correlate with the stem size, which was bigger in the boom-corridor thinning methods than the thinning from below, especially in the treatment M2. The boom-corridor thinning method M2 unit costs €/m<sup>3</sup> were 15% lower than those of the traditional thinning from below method. For boom-corridor thinning method M3, joint average unit costs €/m<sup>3</sup> were 5% higher than those of traditional thinning from below method M1 and 20 % higher than boom-corridor thinning method M2.</p> <p>The study concluded that boom-corridor thinning is a productive harvesting method worth developing for the first thinning of young forests. Using boom-corridor thinning methods will reduce costs of first thinning forests significantly. Compared to previous research, the main results of this study were similar, with a 16% increase in productivity. Other studies suggest productivity could be doubled with technology developed for boom-corridor thinning.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Boom-corridor thinning, thinning from below, time study, motion study, productivity, hourly productivity, effective productivity			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Yrjö Nuutinen, Bo Dahlin, Veli-Pekka Kivinen			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Viikin Tiedekirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) <a href="https://ethesis.helsinki.fi">ethesis.helsinki.fi</a>			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

## **ESIPUHE**

Pro gradu -tutkielma on tehty Joensuun Luonnonvarakeskuksen (LUKE) Luonnonvarat- ja biotalousyksikön kehittämishankkeesta, jossa tutkittiin käytäväharvennusta korjuumenetelmänä nuorten männiköiden ensimmäiseen koneelliseen harvennukseen. Tutkimuksen mahdollisti kehittämishankkeen vetäjä ja tutkija MMT Yrjö Nuutinen, jota haluan lämpimästi kiittää Konneveden tutkimusaineistosta ja kärsivällisistä neuvoista aineiston käsittelyssä.

Helsingin yliopiston metsäteknologian professori Bo Dahlin auttoi tilastollisten menetelmien analyyseissä ja yliopistonlehtori MMT Veli-Pekka Kivinen opasti työtä sen eri vaiheissa. Suuri kiitos heille molemmille.

Lahdessa marraskuussa 2019

Reima Karjalainen

# Sisällys

1. JOHDANTO .....	8
1.1 Tutkimuksen tausta .....	8
1.2 Käytäväharvennus .....	10
1.3 Tutkimuksen tavoitteet .....	14
2. AINEISTO JA MENETELMÄT .....	16
2.1 Tutkimusleimikko .....	16
2.2 Tutkimusleimikon koejärjestelyt .....	18
2.3 Testihakuiden hakkuukone ja hakkuulaite.....	20
2.4 Tutkimusleimikon aineisto .....	21
2.5 Videoaineiston aikatutkimusaineisto .....	22
2.5.1 Hakkuun työvaihejaottelu ja niiden kuvaukset.....	22
2.5.2 Työvaiheiden ajanmenekin mittaus ja mallintaminen.....	25
2.6 Tilastolliset menetelmät.....	27
2.7 Yksikkökustannusten laskenta .....	28
3. TULOKSET .....	29
3.1 Hakkuun tehoajanmenekin rakenne .....	29
3.2 Prosessointi ajouralta ja välialueelta .....	31
3.3 Hakkuun tuottavuus .....	32
3.4 Poistettujen runkojen keskikoko .....	34
3.5 Työvaiheiden ajanmenekit runkoa kohti .....	34
3.6 Hakkuun yksikkökustannukset .....	36
3.7 Tilastolliset analyysit .....	37
3.7.1 Poistetut puut.....	37
3.7.2 Ajanmenekki ja tuottavuus.....	39
3.7.3 Rungon tilavuuden vaikutus hakkuun tuottavuuteen .....	40
4. TULOSTEN TARKASTELU .....	44
4.1 Aineisto .....	44
4.2 Menetelmät.....	45
4.3. Tulokset.....	46
4.4 Kustannukset.....	49
4.5 Yleistettävyyys.....	53
5. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	54

5.1 Käytäväharvennus .....	54
5.1.1. Käytäväharvennusmenetelmä .....	54
5.1.2. Tutkimusmenetelmät .....	55
5.2 Pohdintaa Konneveden tutkimusmetsiköstä .....	56
5.2.1. Korjuujälki .....	56
5.2.2. Harvennusvoimakkuus .....	57
5.2.3. Puuston rakenne .....	58
5.2.4. Alikasvos.....	59
5.3. Tulevaisuuden jatkotutkimustarpeet .....	60
6. LÄHTEET .....	61
LIITTEET	

## KÄSITTEET

Aikatutkimus	Menetelmä ja tekniikka, jolla työajanmenekkiä mitataan. Aikatutkimus on työmittauksen tekniikka.
CAN-väylä	Automaatioväylä, jota käytetään metsäkoneiden harvesteripään mittaus- ja ohjaustiedon välittämiseen. ( <i>Controller Area Network</i> )
Käyttötuntituottavuus $E_{15}$	Käyttötuntituottavuus ( $m^3/h$ ) on tunnin ajanjakso, jonka aikana kone suorittaa sille osoitettua tehtäväänsä siten, että toiminnallisia tai mekaanisia keskeytyksiä on korkeintaan 15 minuuttia.
Käytäväharvennus	Menetelmässä puut kaadetaan ajourien välistä 1 – 2 metrin levyisissä suorissa tai vinoissa käytävissä. Kaikki puomin suunnassa olevat puut ovat kaadettavia.
Liiketutkimus	Erillisten työvaiheiden etenemisen tutkimista ja työn analysointia
Tuottavuus	Työn tuottavuus on tuotoksen suhde käytettyihin panoksiin.
Tehotuntituottavuus $E_0$	Työn tuottavuus ilman toiminnallisia tai mekaanisia keskeytyksiä.
Valikoiva alaharvennus	Menetelmässä poistetaan alimpien latvuserrosten huonolaatuiset puut ja jätetään isot valtapuut kasvamaan. Tutkimuksessa käytetään pääasiallisesti nimitystä valikoiva harvennus.
VMI	Valtakunnan metsien inventointi on suomalainen tilastolliseen otantaan perustuva metsien inventointi, jota toistetaan 5-10 vuoden välein.

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Suomalaisten metsien puuvaranto ja kasvu ovat suurempia kuin koskaan aiemmin. Valtakunnan metsien 12. inventoinnissa vuosina 2014–2017 mitattu puuston määrä oli 2,5 miljardia kuutiometriä ja vuotuinen kasvu 107,0 miljoonaa kuutiometriä (Valtakunnan metsien 12. 2018). Kolmen vuoden aikana taimikoiden ja nuorten metsien metsänhoidollinen tila oli lievästi kohentunut ja ensiharvennusrästit olivat vähentyneet (Valtakunnan metsien 12. 2018). Tulokset osoittivat, että uudistushakkuiden jälkeen metsänuudistamisesta huolehdittiin hyvin, mutta taimikonhoidossa ja ensiharvennuksissa oli kuitenkin edelleen puutteita. VMI 12 tarkastelujaksolla 2014–2017 mitattiin, että taimikon hoitotarvetta oli 223 960 hehtaarilla ja taimikonhoito oli myöhässä 159 100 hehtaarilla. Taimikonhoidon myöhästymiset olivat lisääntyneet edellisestä VMI 11:n tarkastelujaksosta 2009–2013 noin 11 % (Valtakunnan metsien 12. 2018).

Yksityiset henkilöt omistavat maamme puuntuotantometsistä noin kuusikymmentä prosenttia ja niiden hakkuut olivat olleet 2000-luvulla noin 80 % markkinahakkuiden kokonaismäärästä (Hänninen 2018). Valtion metsiä hallinnoi Metsähallitus Oy ja sen osuus markkinahakkuista 2000-luvulla oli noin 9 %. Metsäyhtiöiden osuus oli hieman alle kymmenen prosenttia ja kuntien, säätiöiden ja yhteismetsien osuus muutama prosentti. Maaseudun elinkeinorakenteen myötä 60-luvulta alkaen maanviljelijöiden osuus metsäomistajista on vähentynyt ja metsät ovat siirtyneet perintönä tai metsäkaupoilla uusille omistajille (Hänninen 2018). Metsäalasta maanviljelijät hallitsevat noin neljäsosaa, sillä metsätilat ovat keskimääräistä suurempia. Tilakoon pientyminen ja metsänomistajakunnan rakenteen muuttuminen saattaa kuitenkin muuttaa tulevaisuuden metsätaloustoimintaa (Korpilahti 2009). Metsätalouden perustana ovat siis yksityiset metsänomistajat, joista suurin osa asuu vielä maaseudulla (Hänninen 2018). Kaupungeissa asuvien metsänomistajien määrä on kuitenkin lisääntynyt ja heidän osuutensa on noin 45 %. Yksityismetsänomistajien käsityksiä metsätalouden kannattavuudesta ja sen mittaamisesta tarkastelevassa tutkimuksessa arvioitiin, että tilakohtaiseen kannattavuuteen vaikuttavat monet eri-



tyyppiset tekijät (Karppinen ym. 2016). Puun kysyntä ja kantohinta määräytyvät markkinoilla ja ne ovat yksityismetsänomistajan vaikutusmahdollisuuksien ulkopuolella. Metsätilakohtaisista tekijöistä kannattavuuteen vaikuttivat puuston tila ja kasvuolot sekä tilan koko. Suurilla yhtenäisillä tiloilla on paremmat kannattavuusedellytykset kuin pienillä ja pirstoutuneilla tiloilla. Metsänomistajien, etenkin muiden kuin maa- ja metsätalousyrittäjien, tietämys ja kiinnostus kannattavuuteen vaikuttavista tekijöistä voivat olla puutteellisia (Karppinen ym. 2016). Tutkimuksessa todettiin, että metsäomistaja voi parantaa metsätaloutensa kannattavuutta omalla toiminnallaan hyödyntämällä hakkuumahdollisuuksia ja tekemällä metsähoitotyöt oikeaan aikaan.

Tämän päivän metsähoidolla ratkaistaan millaista puuta metsäomistajilla ja puunjalostusteollisuudella on käytettävissä tulevaisuudessa (Rantala 2012). Metsäntuotannon alkuvaiheen kustannus- ja laatutappiot moninkertaistuvat metsäkasvatuksen ja jalostusketjun aikana. Metsätalouden kannattavuus ja metsänomistajien aktiivisuus metsien hoidossa ovat laskussa, vaikka Suomen metsävarat ovat kaksinkertaistuneet viimeisten 50 vuoden aikana. Taimikonhoidon rästit ovat kasvaneet 20 vuoden aikana 400 000 hehtaarista lähes 700 000 hehtaariin. Rantalan (2012) mukaan vuosi vuodelta kasvava osuus taimikonhoitotöistä kohdistuu myöhässä oleviin kohteisiin, jolloin myös kustannukset nousevat. Metsänhoidon kustannuksien laskeminen on yksi tärkeä tavoite metsätaloudessamme.

Taimikonhoito on investointi tulevaisuuteen ja sen avulla saadaan myös ensiharvennuksessa järeämpää ja arvokkaampaa puuta (Äijälä ym. 2014). Taimikonhoidolla säädellään taimikon tiheyttä, kasvatettavien taimien laatua ja puulajisuhteita sekä turvataan tulevan puuston kasvatusedellytykset. Mitä varhaisemmassa vaiheessa taimikonhoito tehdään, sitä pienempää on poistettavien taimien koko ja työkustannukset saadaan minimoitua (Riikilä 2010). Taimikonhoito vähentää myös ennen ensiharvennusta tehtävän ennakkoraivauksen tarvetta. Ajallaan tehdyt ensiharvennukset ovat tärkeitä metsien tulevaisuuden kannalta. Metsätalouskeskus Tapion hyvän metsänhoidon suositusten mukaan ensiharvennus on metsähoidollinen toimenpide, joka vaikuttaa merkittävästi puuston tulevaan kehitykseen ja arvokasvuun (Äijälä ym. 2014). Puuston kasvaessa kilpailu kasvutilasta kiihtyy, minkä seurauksena puiden elävän latvuksen osuus supistuu ja paksuuskasvu hidastuu. Hoitotöiden laiminlyönnit vaikuttavat metsien kasvupotentiaalin toteutumiseen. Tulevaisuuden metsänhoidon keskeinen ongelma on ammattimaisen työvoiman saatavuus metsätöihin (Rantala 2012). Arviolta puolet metsätyöammattilaisista jää eläkkeelle

vuoteen 2016 mennessä, metsäalalle tarvitaan runsaasti uusia ammattilaisia ja myös ihmistyön tuottavuutta on pyrittävä parantamaan. Avainasemassa työn tuottavuuden nostamisessa tulee olemaan metsähoitotöiden koneellistaminen (Rantala 2012).

Koneellisen hakkuun osuus vuonna 2016 oli 99,96 % kaikista hakkuutavoista (Strandström 2017). Vertailtaessa metsäkoneiden paremmuutta kiinnitetään usein liian paljon huomiota koneen tuottavuuteen ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) (Uusitalo 2003). Korjuutyön kannattavuuden kannalta korjuun yksikkökustannus ( $\text{€}/\text{m}^3$ ) on kuitenkin yksi tärkeimmistä tekijöistä. Uusitalon (2003) mukaan myös koneiden suhteellisen hinnan kohoamisen myötä on koneiden käyttöaste tullut tärkeäksi tekijäksi. Koneellisen hakkuun tuottavuuteen vaikuttavat eniten koneen kuljettajan ammattitaito, poistettavien runkojen koko ja niiden lukumäärä hehtaaria kohti (Hynynen ym. 2005). Koneellisen hakkuun tuottavuuteen ja kustannuksiin vaikuttavat paljon myös leimikon olosuhteet kuten maasto, puulaji ja alikasvos sekä käytetty työmenetelmä.

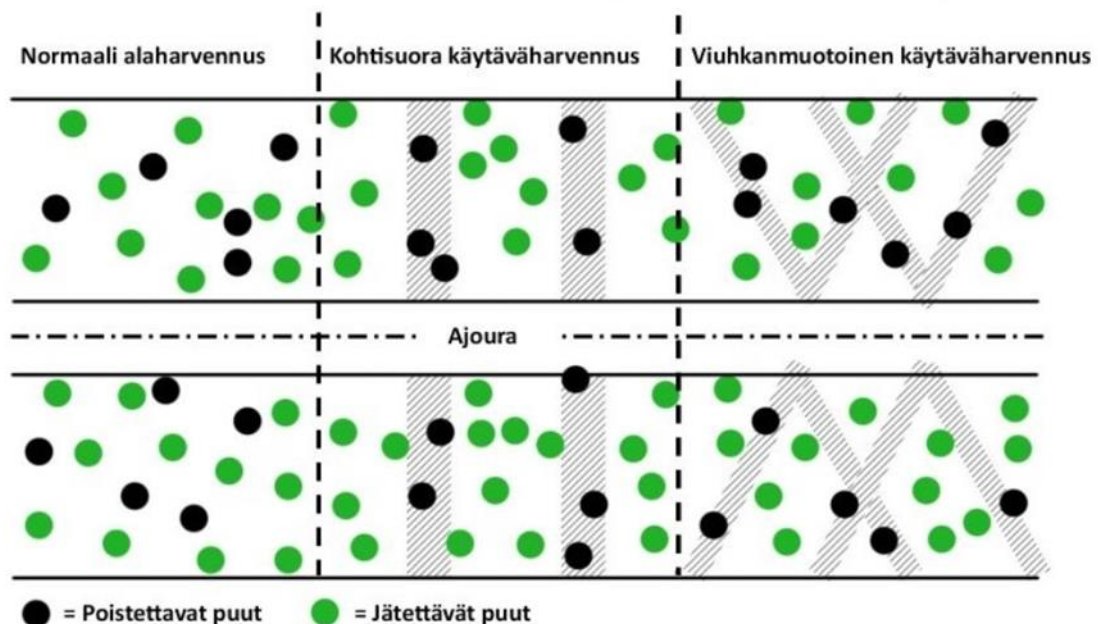
Kasvatushakkuiden korjuumenetelmiä on kehitetty aina metsänhoidon ja korjuun näkökulmasta (Nuutinen 2017). Toiseen maailmansotaan saakka käytössä oli puhdasoppinen alaharvennus justeerilla, pokasahalla, kirveellä ja hevosella (Konttinen ja Drushka 1997). 1950-luvulla otettiin käyttöön moottorisahat (Riikilä 2014) ja maataloustraktorit, jolloin puut kaadettiin ja juonnettiin ajouran varteen (Konttinen ja Drushka 1997). 1980-luvulla puunkorjuumenetelmä perustui metsurin ja metsätraktorin korjuuketjuun 30 metrin ajouravälillä. Lopullinen koneellistumisen läpimurto tapahtui 1990-luvulla hakkuukoneiden mittalaitteiden kehittymisen myötä. Tuolloin ajouraväli muutettiin 20 metriin, hakkuukoneen puomin 10 metrin ulottuvuuden mukaan (Nuutinen 2017).

## **1.2 Käytäväharvennus**

Käytäväharvennus on menetelmä nuorten männiköiden ensimmäiseen koneelliseen harvennukseen ja työmenetelmällä voidaan edistää puun- ja energianpuun korjuuta kustannustehokkaasti. Käytäväharvennusmenetelmä soveltuu hyvin myös varttuneisiin ylitiheisiin taimikoihin. Käytäväharvennuksen etu verrattuna perinteiseen menetelmään eli alaharvennukseen on, että puut kaadetaan ajourien välistä 1 - 2 metrin levyisissä käytävissä (Nuutinen 2017). Tällöin kaikki puomin suunnassa olevat puut ovat kaadettavia ja eikä jäljelle jääviä puita tarvitse väistää sivuittaisilla liikkeillä. Tämä mahdollistaa puiden

jatkuvan kaadon käytävissä. Käytäväharvennuksessa poistetaan kaikki puut ajouraan nähden kohtisuorilta tai vinoilta viuhkamaisilta käytäviltä, jotka ulottuvat ajouralta toiselle (Kuva 1). Menetelmällä tavoitellaan parempaa tuottavuutta ja korjuujälkeä verrattuna valikoivaan harvennukseseen, joka tavallisesti toteutetaan alaharvennuksena.

Käytäväharvennuksesta on käytetty myös nimitystä kuormainkäytäväharvennus ja siitä yläkäsitettä geometrinen harvennus (Kettunen 2014). Harvennustavalla tarkoitetaan periaatetta, jonka mukaan harvennuksessa poistettavat puut valitaan (Hynynen 2007). Suomalaisessa metsähoidossa on perinteisesti käytetty valikoivaa harvennusta eli alaharvennusta, jossa poistetaan pääsääntöisesti leimikon pieniä ja huonolaatuisia puita. Harvennusten lukumäärään ja voimakkuuden suunnitteluun käytetään yleensä Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion Hyvän metsänhoidon suositusten mukaisia harvennusmalleja (Äijälä ym. 2014). Käytäväharvennuksen soveltuvuutta on aiemmin kokeiltu paikallisiin hakkuuympäristöihin Ruotsissa, Keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa (Käytäväharvennus on lupaavaa 2018). Suomessa käytäväharvennusmenetelmää oli tutkinut ja kehittänyt Luonnonvarakeskus (LUKE) ja yhteistyötä on tehty esimerkiksi ruotsalaisen Umeån yliopiston kanssa (Swedish University of Agricultural Sciences). Käytäväharvennusmenetelmä soveltuu nykyisille hakkuukoneteknologioille ja se täyttää Suomen metsäkeskuk- sen soveltamat hyvän metsänhoidon ja korjuujäljen kriteerit (Nuutinen 2017).



Kuva 1. Kaavakuva eri harvennustavoista (Bergström 2009).

Käytäväharvennuksesta ja perinteisestä valikoivasta harvennuksesta on tehty vertailevia aika- ja tuotostutkimuksia, sekä tutkittu harvennustavan vaikutuksia kasvamaan jätettävään puustoon ja koneellisen hakkuun tehokkuuteen (Nuutinen ym. 2018). Nykyisin käytössä olevia systemaattisia harvennustapoja ovat rivi- ja käytäväharvennus. Tutkimusten mukaan käytäväharvennus on testaamisen arvoinen hoito- ja korjuumenetelmä ainakin ensimmäisessä pieniläpimittaisen puun harvennuksessa (Nuutinen 2017). Rivi- ja käytäväharvennuksella pyritään luomaan avohakkuita vastaavat korjuuolosuhteet.

LUKE:n kehittämishankkeen 2017-2018, Käytäväharvennus – Menetelmä nuorten männiköiden ensimmäiseen koneelliseen harvennukseen, tavoite oli kehittää käytäväharvennuksen kustannustehokas työmenetelmä käytössä oleville hakkuukoneteknologioille (Käytäväharvennus – menetelmä nuorten 2018). Käytäväharvennuksen tutkimushanke on tarpeellinen, koska halutaan edistää nuorten metsien hyödyntämistä ja bioenergian tuottamista. Toiseksi halutaan parantaa ensiharvennustyön kannattavuutta ja kolmanneksi halutaan kehittää kuljettajaystävällistä työmenetelmää (Nuutinen 2017).

Hankkeessa kerätystä tutkimusaineistosta selvitettiin käytäväharvennuksen vaikutukset hakkuun tuottavuuteen ja kasvamaan jätettävään puustoon, harvennuskertymään sekä korjuuvaurioihin verrattuna perinteiseen valikoivaan harvennustapaan (Nuutinen 2017). Aineistosta simuloitiin käytäväharvennusmenetelmän vaikutukset metsikön tulevaan kasvuun ja verrattiin niitä perinteiseen harvennusmenetelmään (Nuutinen 2017). Tutkimustuloksista laaditaan käytäväharvennuksen koulutuspaketti hyödynnettäväksi hankkeen jälkeen.

Nuutinen ym. (2018) ovat koonneet kirjallisuuskatsaukseensa vuosilta 1980–2017 yhteensä 12 käytäväharvennusta ja valikoivaa harvennusta tarkastelevaa pohjoismaista tutkimusta. Näistä hakkuun tuottavuutta käsitteli kolme tutkimusta ja hakkuun kustannuksia yksi tutkimus. Korjuuteknologiaa käsitteli neljä tutkimusta ja harvennusmenetelmien vaikutuksia kasvatettavan puustoon ja hakkuukertymään neljä tutkimusta. Kirjallisuuskatsaus haki vastausta kysymykseen: ”Missä määrin systemaattisen harvennuksen ja perinteisen valikoivan harvennuksen vaikutukset eroavat toisistaan, kun tarkastellaan puun korjuun tehokkuutta, harvennuskertymää ja kasvamaan jätettävää puustoa”.

Joukkokeräävällä hakkuulaitteella bioenergianpuun korjuussa käytäväharvennusmenetelmällä saavutettiin 16 % suurempi tuottavuus verrattuna perinteiseen valikoivaan harvennukseen (Bergström 2009). Kehittämällä uutta tekniikkaa käytäväharvennukseen, tuottavuutta ja kustannustehokkuutta olisi mahdollista parantaa vielä jopa kaksinkertaiseksi. Bergströmin (2009) tutkimuksessa esiteltiin myös hypoteettinen prototyyppi kaatavasta ja korjaavasta kaatopäästä käytäväharvennusmenetelmään. Prototyyppiä tarkasteltiin myös erikseen toisessa tutkimuksessa, jossa esiteltiin prototyyppikaatopää ja sillä suoritettuja kenttäkokeita (Bergström ym. 2012). Prototyyppi perustui ruotsalaiseen SuperCut 300 kaatolaitteeseen, jonka ympärille prototyypin laitteet ja mekanismit olivat kokoonpantu.

Bergströmin simulointitutkimuksessa analysoitiin kolmea käytäväharvennusmenetelmää joukkokäsittävällä hakkuupäällä (Bergström ym. 2007). Tutkimuksen tarkoitus oli määrittää simuloimalla korjuun ajankulutukseen vaikuttavia tekijöitä geometrisella harvennuksella kahdesta aineistosta: nuoresta ensiharvennusmetsästä ja ensiharvennusmetsästä, jossa taimikonhoito oli myöhässä. Tutkimuksessa havaittiin, että joukkokäsittävällä hakkuulaitteella tuottavuus ensiharvennusmetsässä oli 1,5 - 2 kertaa suurempi kuin ylitiheässä taimikossa. Hypoteesin mukaan korjuun ajankulutusta voidaan merkittävästi alen-  
taa käytävää kohti, kun käytetään enemmän alue- tai käytäväkohtaisia korjuutekniikoita verrattuna perinteisiin menetelmiin (Bergström ym. 2007). Biomassan korjuun tehokkuuden optimointi paranisi, jos korjuuyksikkö olisi suunniteltu nimenomaan geometristä harvennusta varten. Kaikki puut tietyltä alueelta tai käytävältä pitäisi korjata yhdellä puomin liikkeellä, kun operoidaan perinteisiltä hakkuukoneen ajourilta. Tutkimuksen johtopäätös oli, että simuloinnin tulokset osoittivat selvästi alue- tai käytäväharvennuksen tehokkuuden nuorissa ja ylitiheissä taimikoissa.

Tutkimuksessa verrattiin käytäväharvennuksen ja valikoivan harvennuksen tuottavuutta perinteisellä korjuuteknologialla tiheässä mäntymetsässä (Bergström ym. 2010). Tutkimuksessa käytäväharvennusmenetelmän tuottavuus oli 16 % parempi verrattuna perinteiseen valikoivaan harvennukseen, kun poistetun puuston keskikoko oli noin 45 dm<sup>3</sup>. Käytäväharvennusmenetelmä oli koneenkuljettajalle uusi ja korjuuteknologia perinteinen, mutta siitä huolimatta tuottavuus oli parempi kuin valikoivalla harvennustavalla. Tutkimuksessa todettiin, että käytäväharvennukseen tarkoitettua teknologiaa- ja työmenetelmiä kehittämällä olisi mahdollista saavuttaa vieläkin parempi tuottavuus.

Systemaattisen harvennustavan ja voimakkuudeltaan vastaavan valikoivan alaharvennuk-  
sen tutkimuksessa vertailtiin menetelmien vaikutuksia kasvatettavaan puustoon ja har-  
vennuskertymään (Isomäki ja Väisänen 1980). Systemaattisia harvennuksia tutkimuk-  
sessa olivat rivi- ja käytäväharvennus. Tutkimuksen metsikkökokeissa systemaattisissa  
harvennuksissa saavutettiin 31–121 m<sup>3</sup>/ha ensiharvennuskertymä ja yhtä voimakkaassa  
alaharvennuksessa 22–96 m<sup>3</sup>/ha. Systemaattisessa harvennuksessa puut ovat keskimäärin  
suurempia kuin alaharvennuksessa. Toisaalta systemaattisessa harvennuksessa poistettiin  
myös runsaasti kehityskelpoisia puita ja suosittiin kehityskelvottomia. Tutkimuksessa to-  
dettiin, että sen aineiston kaltaisissa ensiharvennusmetsiköissä täyssystemaattisen har-  
vennuksen tarjoamat edut eivät olleet suuria verrattuna alaharvennukseen. (Isomäki ja  
Väisänen 1980). Systemaattisen harvennuksen etuina pidettiin poistettavien puiden pie-  
nempää lukumäärää ja puiden parempaa saavutettavuutta harvennuskäytävissä. Tutkimus  
suositteli, että käytettävissä oleva teknologia huomioon ottaen olisi perusteltua käyttää  
systemaattisen ja alaharvennuksen yhdistelmää, jossa puut korjataan 30 metrin ajouravä-  
lillä ja neljä metriä leveiltä käytäviltä. Tutkimus oli tehty vuonna 1980 ja silloin käytössä  
oli yleisesti metsuri-kuormatraktori puunkorjuuketju, joten ainakin näiltä osin teknologia  
ja puunkorjuumenetelmät ovat kehittyneet. Ajouraväli on uuden teknologian myötä ka-  
ventunut 20 metriin hakkuukoneen puomin 10 metrin ulottuvuuden mukaan ja käytä-  
väharvennuksen käytävän leveys 1 - 2 metriin.

### **1.3 Tutkimuksen tavoitteet**

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää käytäväharvennusmenetelmän ajanmenekkiä  
ja tuottavuutta mäntyvaltaisen ensiharvennuspuuston koneellisessa puunkorjuussa käy-  
tössä oleville hakkuukoneteknologioille sekä verrata tuottavuutta ja yksikkökustannuksia  
perinteiseen valikoivaan alaharvennukseen.

Työn tuloksena tarkastelluille käytäväharvennusmenetelmille esitetään tuntituottavuus-  
mallit, joita verrataan perinteisen valikoivan alaharvennuksen tuottavuusmalleihin. Tut-  
kimus ja tarkastelu tehdään Luonnonvarakeskuksen (LUKE) kehittämishankkeesta, jossa  
tutkittiin käytäväharvennusta korjuumenetelmänä nuorten männiköiden ensimmäiseen  
koneelliseen harvennukseen.

Tavoitteena oli myös lisätä ymmärrystä käytäväharvennusmenetelmästä ja tarjota näkökulmia uusien käytäväharvennusteknologioiden ja työmenetelmien kehittämiseen. Tutkimuksen vertailukohteina käytettiin aiemmin tehtyjä nuorten metsien harvennus- ja energiapuututkimuksia, joissa oli käytetty rivi- tai käytäväharvennusmenetelmiä, sekä muita soveltuvia metsäalan tutkimuksia.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

### 2.1 Tutkimusleimikko

Käytäväharvennuksen kehittämishanke toteutettiin vuosina 2017–2018 ja se kuului Pohjois-Karjalan, Keski-Suomen ja Pohjois-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelmiin vuosina 2014–2020. Tavoitteena oli metsävarojen kestävä hyödyntäminen ja uusiutuvan energiantuotannon tukeminen. Leimikkoaineisto käsitti yhden mäntyvaltainen kuuden hehtaarin ensiharvennusmetsikön Konnevedellä, jossa oli hakkuuta haaittava alikasvos (Kuva 2). Leimikon taimikonhoito oli tehty 12 vuotta sitten. Metsätyypiltään kohde oli tuore kangasmetsä, jonka puuston ikä oli 24 vuotta (Kuva 3). Lähtöpuustoa oli noin 2000 runkoa hehtaarilla ja poistuman keskikoko oli 60–70 dm<sup>3</sup>/runko.



Kuva 2. Kolarin UPM:n tutkimusleimikko sijaitsee Keski-Suomessa Konneveden kunnassa (Kuva [www.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka](http://www.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka)).





Kuva 3. Konneveden Kolarin UPM:n tutkimusmetsikkö oli mäntyvaltaisen tuoreen kankaan metsä, jonka puuston valtapituus oli 13–14 metriä. Metsikössä oli hakkuuta haittaava alikasvos ja maapohjaltaan se oli tasainen. Tutkimusmetsikön pinta-ala oli kuusi hehtaaria. (Kuva Yrjö Nuutinen LUKE).

Aikatutkimuksessa ja harvennuskäsittelyjen tarkastelussa tutkittiin kolmea eri mäntyvaltaisen metsikön ensiharvennuskäsittelyä: viittä valikoivan harvennuksen käsittelyä, neljää käytäväharvennuskäsittelyä, joissa käytävän paikka oli ohjeellisesti merkitty, sekä kuutta käytäväharvennuskäsittelyä, joissa kuljettaja valitsi käytävän paikan. Ajoura tehtiin niin käytäväharvennuksessa kuin valikoivassa harvennuksessa samalla tavalla. Lähtöpuuston tiheys ennen hakkuuta koealoilla oli 1200–2150 runkoa / ha (Taulukko 1). Poistuman runkolukujen keskiarvo oli 719 runkoa ja jäljelle jäävän puuston runkoluvun keskiarvo 908 runkoa. Aikatutkimuksessa tutkittiin noin 1100 runkoa, joiden yhteistilavuus oli noin 75 kiintokuutiometriä ( $m^3$ ). Koealakohtaiset hakatut runkomäärät vaihtelivat välillä 51–107 (kpl) ja koealojen puiden runkokohtaisiksi käsittelyajoiksi saatiin noin 20 sekuntia (s). Koealakohtainen tuottavuus vaihteli välillä 10–15,5 kuutiometriä tunnissa ( $m^3/h$ ). Työvaiheiden tehoajanmenekki ( $E_0$ ) kaikilla koealoilla yhteensä 356 minuuttia eli noin 6 tuntia.

Taulukko 1. Konneveden tutkimusmetsikön lähtöpuusto ja poistuma (koealojen lyhenteet, katso kuva 4).

Harvennus käsittely	Koeala	Koealan koko (m <sup>2</sup> )	Puusto ennen hakkuuta kpl/ha	Puuston keskiläpimitta ennen hakkuuta (mm) d1,3	Poistuman tiheys kpl/ha	Poistuman tilavuus m <sup>3</sup> /ha	Puusto hakkuun jälkeen kpl/ha
M1	R1	1000	1200	133	680	49,6	520
M1	R2	1000	1450	135	880	55,5	630
M1	R3	1000	2150	134	1070	73,1	1090
M1	R4	1000	1500	120	800	47,9	710
M1	R5	1000	1800	132	820	52,7	990
M2	R1	1000	1650	130	770	64,1	900
M2	R2	860	1450	131	590	45,1	870
M2	R3	1000	1900	170	790	64,0	1120
M2	R4	1000	1750	133	740	50,5	1020
M3	R1	1000	1800	132	550	38,2	1260
M3	R2	1000	1700	134	760	51,7	950
M3	R3	1000	1650	111	510	30,0	1130
M3	R4	1000	1350	128	570	38,6	790
M3	R5	1000	1700	130	820	49,7	890
M3	R6	800	1350	135	610	38,7	750

## 2.2 Tutkimusleimikon koejärjestelyt

Tutkimusleimikko oli jaettu kuuteentoista tutkimuskoealaan, jotka oli sijoitettu peräkkäisen ja rinnakkain siten, että niiden puusto oli mahdollisimman samankaltainen (Kuva 4). Aikatutkimuskoealan pituus oli 50 metriä ja leveys 20 metriä ja siinä oli kaksi 100 m<sup>2</sup> puustonmittausalaa (Kuva 5). Keskelle koealaa merkittiin ajoura, jonka leveys oli neljä metriä. Koealojen puusto mitattiin ennen hakkuuta ja hakkuun jälkeen 100 m<sup>2</sup> puustonmittauskoealoilta. Koealoilla tehtiin kolme harvennuskäsittelyä, viisi perinteistä alaharvennuskäsittelyä, neljä käytäväharvennuskäsittelyä, joissa käytävän paikka oli ohjeellisesti merkitty sekä kuusi käytäväharvennuskäsittelyä, joissa kuljettaja valitsi käytävän paikan. Käytäväharvennuskäsittelyissä, joissa kuljettaja valitsi käytävän paikan, kuljettaja sai lisäksi ohjeen poistaa puuta tarvittaessa myös harvennuskäytävien vierestä tai näiden välialueelta. Ohjeistuksella haluttiin näin nojata enemmän kuljettajan ammattitaitoon.

Harvennusmenetelmät:

M1 = Valikoiva harvennus

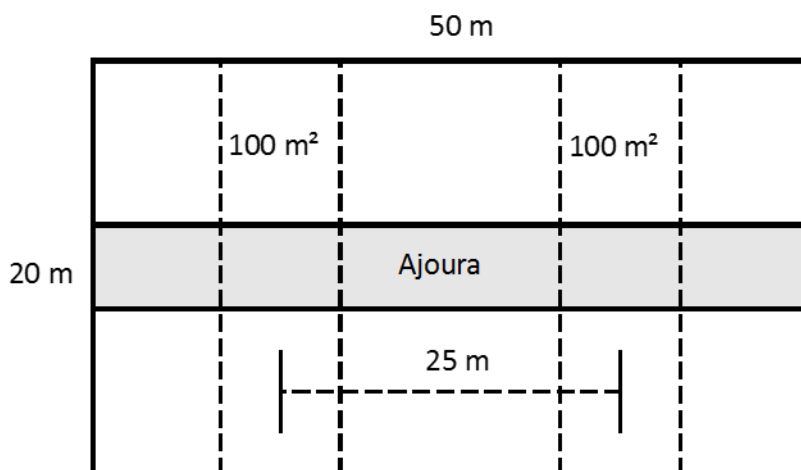
M2 = Käytäväharvennus, ohjeellinen käytävän paikka merkitty

M3 = Käytäväharvennus, kuljettaja valitsi käytävän paikan

Koealan numerot = R1, R2, R3, R4, R5, R6

	Pituus 43 m					Pituus 40 m
						M3R6
M1R2	M2R2	M1R4	M2R4	M3R1	M3R3	M3R5
M1R1	M2R1	M1R3	M2R3	M1R5	M3R2	M3R4

Kuva 4. Konneveden tutkimusleimikolla koealat oli sijoitettu kuviolle peräkkäin ja rinnakkain siten, että niiden puusto oli mahdollisimman samankaltainen. Koealoilla tehtiin kolme eri harvennuskäsittelyä (Nuutinen 2017).



Kuva 5. Aikatutkimuskoealan pituus oli 50 metriä ja leveys 20 metriä ja sen keskellä oli neljä metriä leveä ajoura. Koealalla oli kaksi 100 m² puustonmittausalaa, joiden puusto mitattiin ennen hakkuuta ja sen jälkeen (Nuutinen 2017).

### 2.3 Testihakkuiden hakkuukone ja hakkuulaite

Testihakkuut toteutti UPM:n avainyrittäjä Varis Forest Oy. Testihakkuiden hakkuukone oli Ponsse Beaver –yksioteharvesteri, joka soveltuu hyvin tiheiltä ensiharvennuksilta uudistushakkuuseen (Ponsse 2019) (Kuva 6). Ponsse Beaverin tavallisimman kokoonpanon omapaino on 17 500 kg (Ponsse 2019). Sen pituus on 7300 mm, leveys noin 3100 mm ja kuljetuskorkeus 3800 mm. Moottori on Mercedes-Benzin 4-sylinterinen 5,13 litrainen ja 150 kW tehoinen diesel.

Testihakkuissa käytettiin Ponsse H6 -hakkuulaitetta, joka soveltuu monipuoliseen käyttöön ensiharvennuksilta aina uudistushakkuihin saakka (Ponsse 2019) (kuva 7). Hakkuulaitteen paino on noin 1050 kg ja sitä voidaan käyttää korjuutyöhön yksinpuin tai joukkokäsittelyssä toteutettavaan korjuuseen. Hakkuulaite on varustettu ohjattavilla karsintaterillä, ketjusahalla ja kolmella syöttörullalla.



Kuva 6. Testileimikko harvennettiin Ponsse Beaver -yksioteharvesterilla, joka oli varustettu Ponsse H6 –joukkokäsittelykouralla (Ponsse Oyj 2019).





Kuva 7. Testileimikon harvennuksessa käytetty hakkuukone oli varustettu Ponsse H6 -joukkokäsittelyllä hakkuulaitteella (Ponsse Oyj 2019).

## 2.4 Tutkimusleimikon aineisto

Joensuun Luonnonvarakeskuksen Luonnonvarat- ja biotalousyksiköstä toimitettiin Konneveden tutkimusleimikosta 42 kpl tutkimusvideota sekä seuraavat puustontutkimusaineistot käytäväharvennuksen ja perinteisen alaharvennuksen aikatutkimus- ja harvennusmenetelmien tarkastelua varten:

- I. Mittaustodistukset. UPM Metsän mittaustodistus hakatusta puutavarasta aikavälillä 3 - 4.9.2018 (16 kpl). Mittaustodistus sisälsi tiedot koealoilta hakatun puuston puutavaralajeista, puulajeista, runkopituudet (jm) ja tilavuudet rungoittain sekä tilavuus yhteensä ( $m^3$ ).
- II. Pölli- ja läpimittaluettelo. Tuotostiedot hakkuukoneen rekisteröimistä yksittäisten hakattujen runkojen mittaustiedoista käsittelyjärjestyksessä kymmeneltä koealalta. Tiedot oli talletettu tiedonsiirtostandardin StanForD mukaisiin tiedostoi-

hin aikavälillä 3 - 4.9.2018 (Skogforsk 2010). Tiedostot pdf-muodossa kymmenestä koealasta. Viidestä koealasta mittaustietoja ei ollut saatavana, koska hakkuukoneen tuotostietojen rekisteröinti oli unohdettu tehdä.

- III. Kellotusohjelma. Excel-pohjainen ohjelmisto, jolla tutkimusvideoita käsitellään ja työvaiheiden aikoja mitataan ja talletetaan.
- IV. Lähtöpuustotiedosto. Sisälsi koealojen lähtöpuuston tietoja puustonmittauskoealoilta ennen hakkuuta Excel-tiedostona (16 kpl koealaa), puulajit, rinnankorkeusläpimitat, tilavuudet ja runkoluvut.
- V. Käsikellotusten tulokset. Hakkuukoneen hytissä tutkijan suorittamia käsikellotustuloksia ja tuntuotoslaskelmia testihakkuun aikana 3 - 4.9.2018 (5 kpl).
- VI. Hakkuuvideot. Hakkuukoneen kuljettajan GoPro -kypäräkameralla testihakkuista kuvaamat videot MP4 -formaattissa aikavälillä 3 - 4.9.2018 (42 kpl).
- VII. Hakkuuvideoiden listat. Testihakkuuajalta 3 - 4.9.2018 (2 kpl).

## **2.5 Videoaineiston aikatutkimusaineisto**

### ***2.5.1 Hakkuun työvaihejaottelu ja niiden kuvaukset***

Työvaiheiden ajanmenekit mitattiin sekunnin (s) tarkkuudella. Konneveden koejärjestelyissä hakkuukoneen työskentelystä mitattiin 14 eri työvaihetta, jotka jaettiin päätyövaiheisiin ja aputyövaiheisiin. Työvaihejako kattoi käyttöajan ( $E_{15}$ ), mutta keskittyi tehoajaan ( $E_0$ ) ja sen rakenteeseen (Kariniemi ja Vartiamäki 2010). Päätyövaiheilla tarkoitetaan työvaiheita, jotka liittyvät rungon käsittelyyn: (2) hakkuulaitteen vienti puulle ja tarttuminen puuhun, (3) kaato, (4) prosessointi, (31) kaato ja siirto 4 m ja (45) prosessointi ajouralta. Päätyövaiheet kuuluivat teholliseen työaikaan ( $E_0$ ). Apuajoilla tarkoitetaan yleisesti työhön liittyviä aputoimia, kuten (6) työn suunnittelua, (7) raivausta, (8) keskeytksiä kuten häiriöitä mittalaitteessa ja hakkuupään ketjun vaihtotyötä, (41) kouran tuon-

tia eteen, (42) latvan tuontia uralle, (43) hakkuutähteiden siirtelyä ja (44) ainespuun kasausta. Apuajat olivat varsinaisen työn suorittamisen kannalta välttämättömiä. Apuajat kuuluivat teholliseen työaikaan ( $E_0$ ). Tehtäessä yhtä aikaa työvaiheita (1) ajo eteen- tai (5) taaksepäin ja (2) hakkuulaitteen vienti ja tartunta, mitattiin (2) hakkuulaitteen viennin aika.

Koneellisen korjuun työvaiheet ovat toisiaan kronologisesti seuraavia liikkeiden sarjoja tietyn työtehtävän suorittamiseksi, jonka alku ja loppu ovat täsmällisesti määritetty (Nuu-tinen 2013). Yksi työvaihe on havaintoyksikkö. Säännöllisesti toisiaan seuraavat työvaiheet muodostavat työsyklin.

Konneveden tutkimuksen työvaiheet noudattivat yleisiä aikatutkimuksen periaatteita, jossa hakkuukoneen työskentely jaetaan työvaiheisiin. Työvaihejako oli määritelty siten, ettei se rajoittanut tutkimustiedon tuottamisessa käytettävää tekniikkaa, vaan ajanmenekkitieto mittasi täsmälleen samaa työsuoritusta riippumatta siihen käytettävästä teknologiasta (Kariniemi ja Vartiamäki 2010). Määrittelyn tuli siis kohdistua suoraan metsätyöhön, eikä käytettävään korjuuteknologiaan. Työvaiheiden osien määrittelyssä oli otettu huomioon StanForD-standardin ajanseurannan jaottelu, joka on tietokoneen ja metsäkoneen välisen kommunikoinnin standardi (Skogforsk 2010). Standardia ylläpitää ruotsalainen metsäntutkimuslaitos (Skogforsk the Forestry Research Institute of Sweden).

1. **Ajo eteenpäin.** Tarkoittaa hakkuukoneen siirtymistä työpisteeltä toiselle. Siirtymisaika on aika, jolloin kone liikkuu eteenpäin. Tämä työvaihe sisältää poistettavien puiden valintaa ja muuta työn suunnittelua.
2. **Hakkuulaitteen vienti ja tarttuminen.** Tarkoitetaan hakkuulaitteen vientiä poistettavan puun luo ja siihen tarttumista. Vientiaika alkaa välittömästi edellisen prosessoidun (karsitun ja katkotun) rungon käsittelyn lopettamisesta, ellei kuljettaja tee aputyövaiheita rungon käsittelyn lopettamisen jälkeen. Siirtymisen jälkeinen vientiaika alkaa heti, kun siirtyminen loppuu ja hakkuulaite liikkahtaa kohti kaadettavaa puuta. Vienti päättyy hakkuulaitteella runkoon tarttumisen jälkeisen kaatosahauksen alkamiseen.

3. **Kaato.** Rungon kaatovaiheeseen kuuluvat rungon kaatosahaus sekä rungon varsinainen kaato ja rungon siirto. Kaatovaihe alkaa rungon kaatosahauksesta ja päättyy rungon prosessoinnin aloitukseen eli hetkeen, kun rungon karsintasyöttö alkaa.
4. **Prosessointi (karsinta ja katkonta).** Rungon karsinta alkaa karsintasyötön alkamisesta ja päättyy rungon viimeisen pölkyn katkaisusahaukseen.
5. **Ajo taaksepäin.** Tarkoittaa hakkuukoneen siirtymistä työpisteeltä toiselle. Siirtymisaika on aika, jolloin kone liikkuu taaksepäin. Tämä työvaihe sisältää poistettavien puiden valintaa ja muuta työn suunnittelua.
6. **Työn suunnittelu.** Tarkoittaa poistettavien puiden valintaa ja muuta työn suunnittelua, joka ilmenee koneen tekemättömyytenä.
7. **Raivaus.** Tarkoittaa alikasvoksen tai huonolaatuisten puiden poistamista hakkuulaitteella kaatamalla, katkomalla tai maahan painamalla.
8. **Keskeytys.** Tarkoittaa hakkuutyön lopettamista tai keskeyttämistä konerikon tai huoltotyön kuten ketjun vaihtotyön vuoksi. Alle tai yli 15 min.
31. **Kaato ja siirto 4 m.** Rungon kaatosahaus sekä rungon varsinainen kaato ja rungon siirto yli neljän metrin matka, kun runko siirretään esimerkiksi ajouran yli toiselle puolelle. Kaatovaihe alkaa rungon kaatosahauksesta ja päättyy rungon prosessoinnin aloitukseen ts. hetkeen, kun rungon karsintasyöttö alkaa.
41. **Hakkuulaitteen tuonti eteen.** Ennen siirtymistä seuraavalle työpisteelle kuljettaja taivuttaa puomin ja tuo hakkuulaitteen koneen eteen. Hakkuulaitteen tuontiaika alkaa prosessoinnin päättymisestä ja päättyy useimmiten hetkeen, kun kone liikaa eteen tai taaksepäin. Työvaihe voi loppua myös apuaikaan.
42. **Latvan tuonti uralle.** Prosessointivaiheen viimeisen pölkyn tai latvan katkaisun jälkeen siirretään hakkuupäällä puun latvaosa ajouralle. Latvan tuontiaika alkaa katkaisusahauksen loppumisesta ja päättyy kun hakkuupää vapauttaa latvan kourasta.



43. **Hakkuutähteen siirto.** Siirretään hakkuutähteitä ajouralla tai leimikon muulla osalla. Siirtoaika alkaa, kun hakkuupään koura tarttuu hakkuutähteeseen ja päättyy kun hakkuupää vapauttaa hakkuutähteen kourasta.
44. **Ainespuun kasa.** Pölkkyjen järjestely ja kasa kouralla. Kasausaika alkaa, kun hakkuupään koura tarttuu pölkkyyn ja päättyy, kun hakkuupää vapauttaa pölkyn kourasta ja kasa loppuu.
45. **Prosessointi ajuralta.** Prosessoitavan rungon sijainti on ollut ajouralla. Rungon karsinta alkaa karsintasyötön alkamisesta ja päättyy rungon viimeisen pölkyn katkaisusahaukseen.

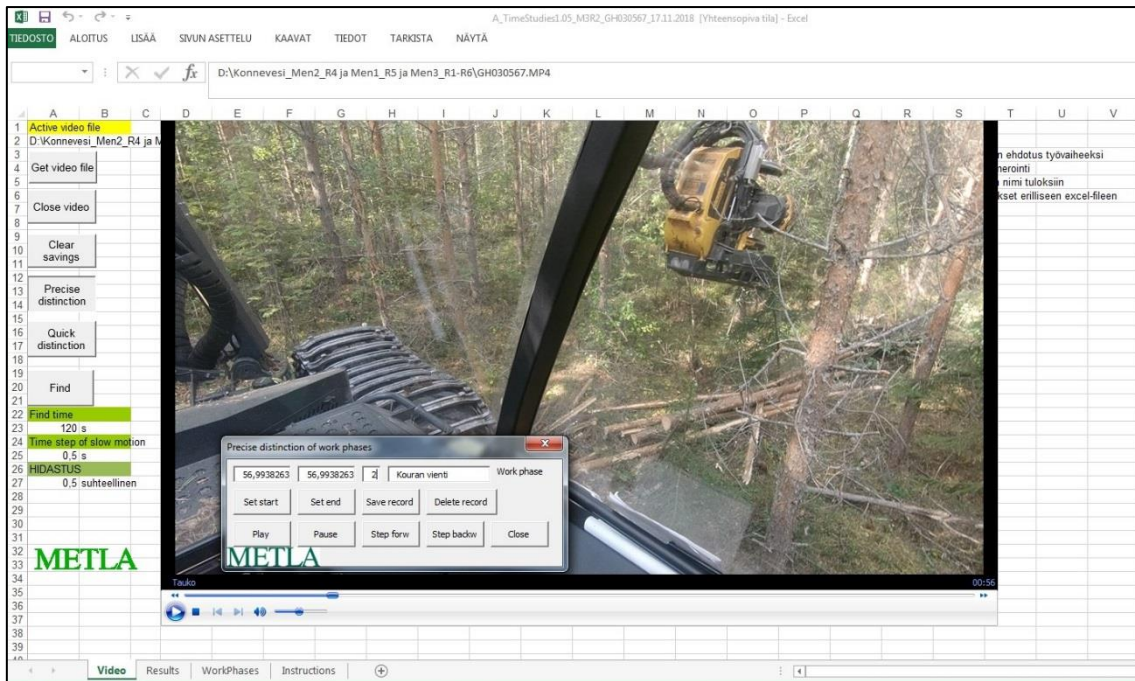
### ***2.5.2 Työvaiheiden ajanmenekin mittaus ja mallintaminen***

Aineiston käsittely, laskenta ja tilastollisia analyysejä tehtiin Aikakone -aikatutkimussovelluksen versiolla 1.03 (Kuva 8). Ohjelman on kehittänyt professori Ari Lauren Itä-Suomen yliopiston metsätieteen osastolta (UEF). Ohjelmassa on kolme sivua, joista ensimmäinen on dialogi-ikkuna videoiden käsittelyyn, toiselle sivulle tallentuvat työvaiheiden ajanmittaustulokset sekä kolmas ja neljäs sivu ovat erilaisille ohjeille. Aikakone 1.03 sovellus on Excel-pohjainen ja aineiston käsittelyssä hyödynnettiin sen ominaisuuksia sekä Pivot-taulukoita laskentataulukoiden tietojen analysointia varten. Työvaiheiden ajanmittauksen tarkkuutena käytettiin yhtä sekuntia (s).

Työvaiheet mitattiin aikatatutkimusohjelmalla seuraavassa kuvatulla tavalla (Nuutinen 2018). (1) Videotiedosto haettiin tiedostosta ohjelman dialogi-ikkunaan, johon videotiedoston nimi tulostui. (2) Valittu video oli dialogi-ikkunassa aktiivinen ja valmis käsiteltäväksi, kunnes se talletettiin ja suljettiin. (3) Avattiin ja tarkastettiin työvaiheiden "Tulokset" tallennuslomakkeen tiedot ennen työvaiheiden mittausta. Valittiin dialogi-ikkunan painikkeista "tarkka erottelu" tai "nopea erottelu" toiminto halutun työvaihetarkkuuden mukaan. Tallennuspainikkeissa olivat toiminnot "Play" ja "Stop". Pysäytettyä kuvaa voitiin siirtää 0,5 sekuntia eteen- ja taaksepäin, jolloin työvaiheen alku- ja päättymiskohta voitiin tarkasti säätää. "Aseta alku" -painike kirjasi työvaiheen alkuhetken ja "Aseta loppu" -painike pysäytti kuvan ja kirjasi työvaiheen loppuhetken. Kun alku, loppu, kesto

ja työvaiheen tunnus olivat oikein, tiedot siirtyivät "Tulokset" sivulle tuloslokiin painamalla "Tallenna havainto" -painiketta. Samalla seuraavan työvaiheen aluksi kirjautuu edellisen työvaiheen loppuhetki. (4) Suoritettiin tarkastaminen ja laadunvalvonta. Lokiin tallentuneilla työvaiheiden alku- ja loppuhetkillä voitiin hakea niiden paikka videolta syöttämällä ajankohta soluun A23 ja napsauttamalla painiketta "Hae", kun haluttiin tarkastella tietyn työvaiheen ajanmenekki.

Työvaiheiden ajanmenekki mitattiin koealakohtaisessa numerojärjestyksessä, ja jokainen videon osa kellotettiin ensin erikseen. Lopuksi erilliset aikatulokset koostettiin koealakohtaisiksi tiedostoiksi. Jokaisesta koealasta oli kuvattu 2 - 3 erillistä videota, joiden pituus vaihteli 2 - 11 min. Yhteen kellotuskertaan käytettiin aikaa keskimäärin yksi tunti ja tarkistuskertoja tehtiin 2 – 4 kpl. Lisäksi tehtiin useita lyhyitä tarkastuksia, joilla pyrittiin varmistamaan tulosten laatu. Tulosten tarkastuksissa käsiteltiin erilaisia harvennusmenetelmien muuttujia, kuten a) työvaiheiden numerojärjestystä, b) työvaiheiden aloitus- ja lopetusaikoja sekä niiden summia, c) työvaihekoodeja, d) puunumeroita, e) puiden sijaintia koealalla, f) tilavuutta, g) pää- ja aputyövaiheiden aikoja sekä niiden keskiarvoja. Lähtöpuustotiedoista ennen hakkuuta ja hakkuun jälkeen koostettiin taulukoita, joita käytettiin tulosten tarkasteluun ja analysointiin. Tuloksiin raportoitii käytäväharvennusmenetelmien ajanmenekit, tuottavuus, tehoajanmenekin rakenne, poistettujen runkojen keskipikkoko, työvaiheiden prosentuaaliset osuudet, prosessit ajouralta ja välialueelta sekä yksikkökustannukset ja verrattiin niitä perinteiseen valikoivaan alaharvennukseen. Tulosten luotettavuus varmistettiin toistamalla ja tarkastamalla työvaiheiden ajanmenekkejä useaan kertaan sekä ristiin tarkastamalla tuloksia puustoaineiston lähtötietoihin.



Kuva 8. Työvaiheiden ajat mitattiin Aikakone -aikatutkimussovelluksen versiolla 1.03. Sovellus on Excel-pohjainen ja siinä ovat käytettävissä Excelin laskenta- ja muokkausominaisuudet. Työvaiheiden ajanmittauksen tarkkuutena käytettiin yhtä sekuntia (Kuvankaappaus tutkimusvideosta, Yrjö Nuutinen & Varis Oy).

## 2.6 Tilastolliset menetelmät

Poistettujen puiden lukumäärää (kpl) tutkittiin koealoittain ja harvennuskäsittelyittäin hakkuukoneen ajouralta ja ajourien välialueelta. Laskettiin Excelillä ja SPSS- ohjelmalla otosten osuuksia, keskiarvoja ja keskihajontoja sekä eroja T-testeillä. Nollahypoteesi ( $H_0$ ) on, että koealojen tai harvennuskäsittelyjen välillä ei ole eroja, joka johtuu poistettujen puiden sijainnista ja lukumäärästä. Nollahypoteesi hylätään ja vastahypoteesi ( $H_1$ ) astuu voimaan, jos p-arvo on suurempi kuin 0,05. Tämä tarkoittaa sitä, että yli 5 % todennäköisyydellä nollahypoteesi ei pidä paikkaansa ja runkolukumäärien erot johtuvat ainoastaan satunnaisvaihtelusta.

Tutkittiin koealoittain ja harvennuskäsittelyittäin merkitseviä eroja puun sijainnin vaikutuksesta poistettujen puiden korjuun ajanmenekkiin (s) ja tuottavuuteen ( $m^3/ha$ ) hakkuukoneen ajouralta ja ajourien välialueelta. Tehtiin tulosten taulukointia sekä riippumattomien otosten T-testejä Excelillä ja SPSS tilasto-ohjelmalla. Nollahypoteesi ( $H_0$ ) on, että koealojen tai harvennuskäsittelyjen välillä on eroja, jotka johtuvat poistettujen puiden

korjuun ajanmenekistä ja sijainnista. Nollahypoteesi hylätään ja vastahypoteesi (H1) astuu voimaan, jos p-arvo on suurempi kuin 0,05 eli 5 % todennäköisyydellä nollahypoteesi ei pidä paikkaansa ja ajanmenekkien erot johtuvat ainoastaan satunnaisvaihtelusta.

Tutkittiin regressioanalyysillä ja mallilla harvennuskäsittelyjä yksittäisen puun tasolla korjuun ajanmenekkiin ja tilavuuteen vaikuttavia tekijöitä havaintoaineiston otoksia taulukoimalla. Pyrittiin löytämään tilastollisesti merkitsevää eroa rungon koon ( $\text{dm}^3$ ) ja tuottavuuden välillä ( $\text{m}^3/\text{h}$ ). Tehtiin regressioanalyysi, jossa tutkittiin pelkästään puiden runkotilavuuden ( $\text{dm}^3$ ) ja tuottavuuden välistä yhteyttä. Selvitettiin varianssianalyysillä (ANOVA) harvennuskäsittelyjen keskiarvojen tilastollisesti merkitseviä eroja.

Tilastointiin oli laskettu mukaan työvaiheet: 2 = hakkuulaitteen tarttuminen, 3 = kaato, 4 = prosessointi, 7 = raivaus ja 31 = kaato ja siirto 4 m sekä poistettu työvaiheet 1 = ajo eteenpäin, 5 = ajo taaksepäin, 6 = työn suunnittelu ja 8 = keskeytys.

## **2.7 Yksikkökustannusten laskenta**

Konneveden koealojen korjuukustannusten määrittämisessä käytettiin käyttötuntikustannuksena (€/h) hakkuukoneelle 90 euroa (Kivinen 2019). Yksikkökustannus (€/m<sup>3</sup>) laskeaan koneen käyttötuntikustannusten (€/h) ja tuntituottavuuden ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) osamääränä. Käyttötuntikustannusten aikakäsite sisältää enintään 15 minuutin keskeytykset. Tehotuntituottavuudet muunnettiin käyttötuntituottavuudeksi hakkuun kertoimella 1,393 (Kärhä ym. 2006). Kerroin perustuu Metsätehossa tehtyihin aikaisempiin aika- ja seurantatutkimuksiin.

Puunkorjuun kustannusdynamiikkaa voidaan tarkastella kaavion avulla, jossa vuosityö-määrä on vakioitu (Kuva 9). Laskelma on toteutettu kausitasoisena, jotta työvoimakustannukset tulisivat huomioiduksi (Poikela 2018). Työpäivän pituus on hallittava kausikohtaisesti, koska se vaikuttaa palkan lisiin, päivittäisten työvuorojen määrään ja tätä kautta edelleen mm. kulkemiskorvauksiin. Keskimääräinen yksikkökustannus saadaan, kun koneyksikkö työskentelee vuoden mittaan erilaisissa leimikoissa, joissa tuottavuus ja kustannustaso vaihtelevat. Leimikkokohtainen yksikkökustannus saadaan vakioimalla

tuntikustannus laskelman osoittamalle tasolle ja jakamalla se leimikko-olosuhteiden mukaisella tuottavuudella. Näin voidaan myös laatia kustannustaulukot, joissa muuttujina ovat keskeiset tuottavuuteen vaikuttavat olosuhdetekijät.

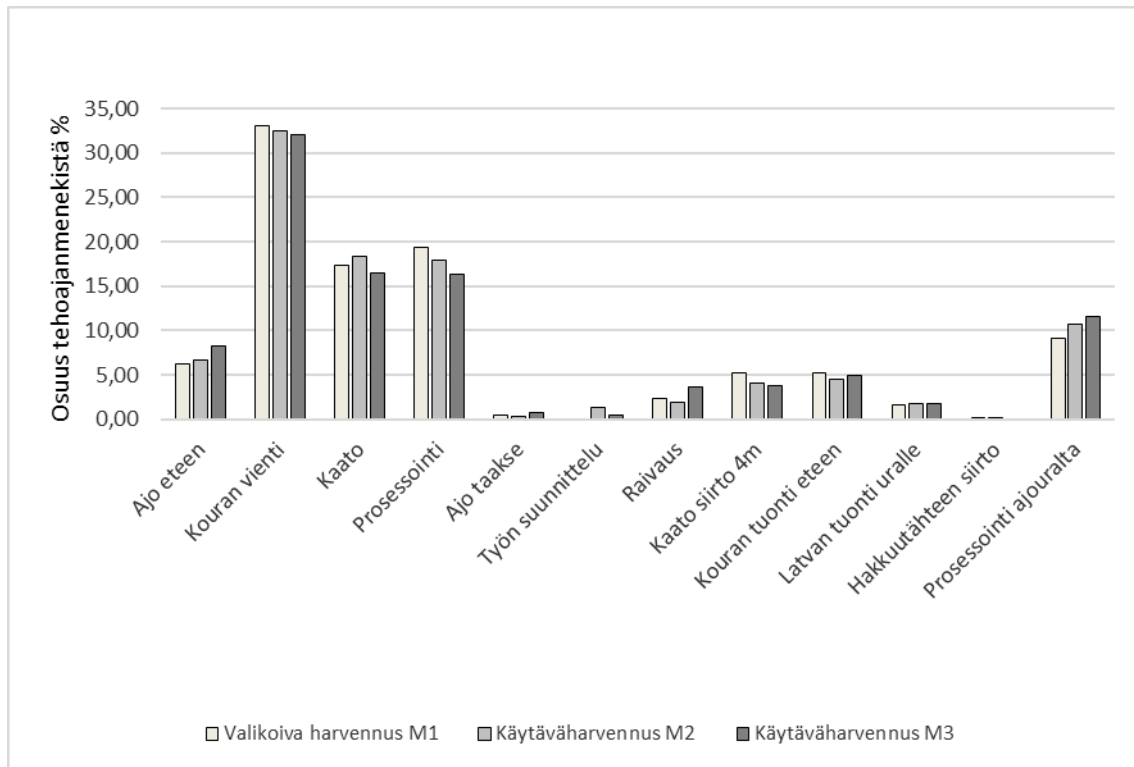


Kuva 9. Yksikkökustannusten laskentamalli, jossa vuosityö määrä on vakioitu. Puunkorjuun kustannusdynamiikka, Asko Poikela, Metsäteho 2018. (Poikela 2018).

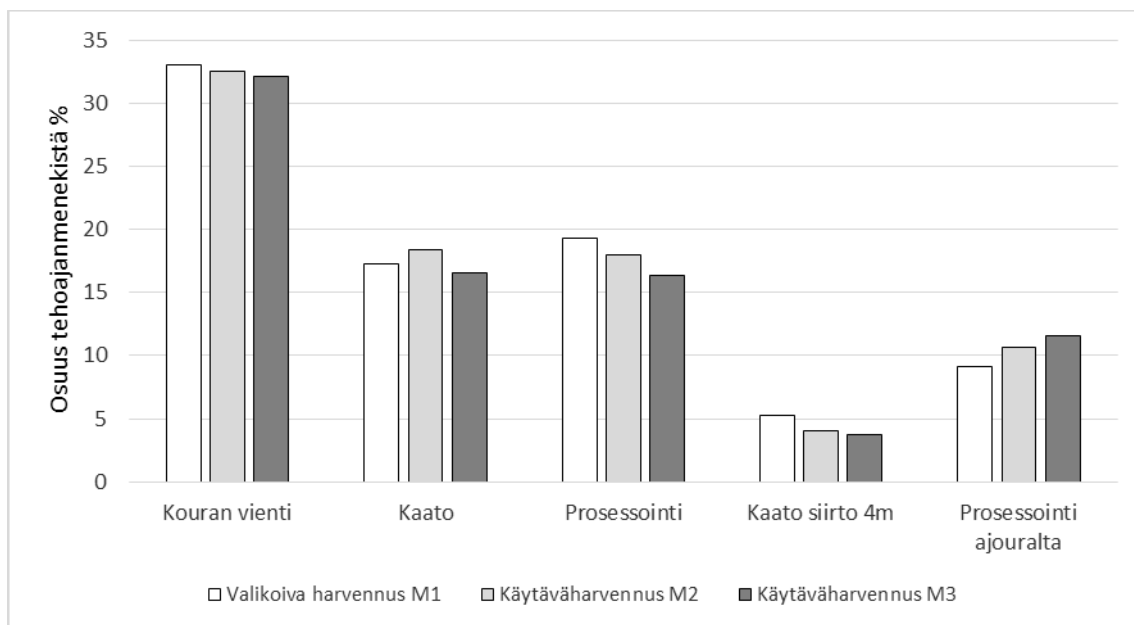
### 3. TULOKSET

#### 3.1 Hakkuun tehoajanmenekin rakenne

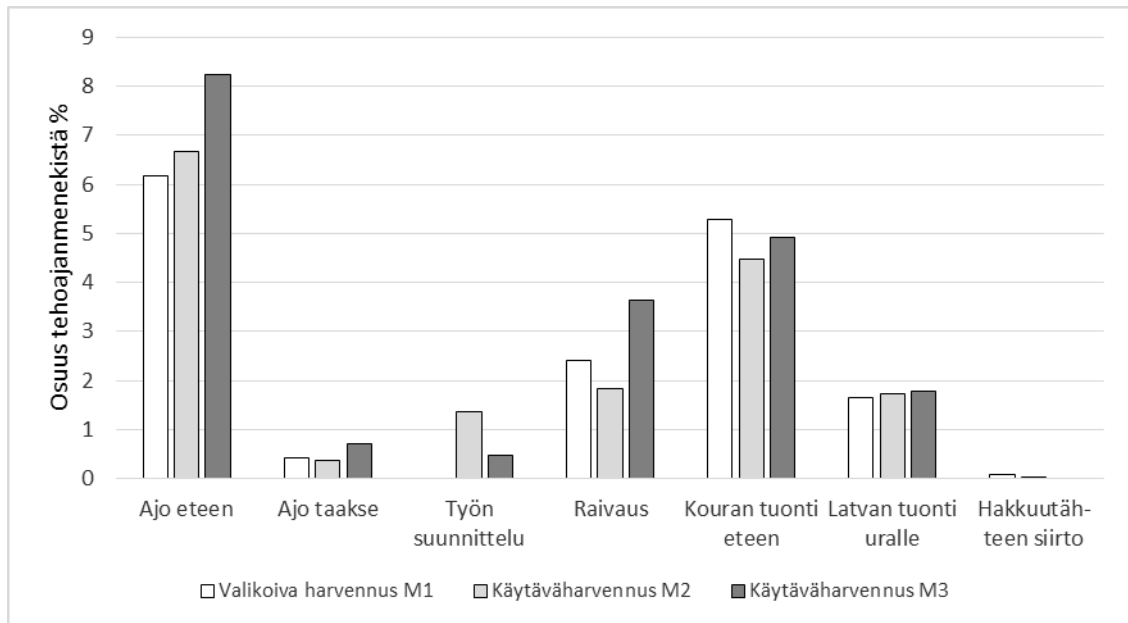
Koealojen tehoajanmenekit ( $E_0$ ) mitattiin harvennuskäsittelyittäin ja työvaiheittain sekä selvitettiin työvaiheiden tehoajanmenekin rakenne ja suhteelliset (%) osuudet (Kuva 10). Päätyövaiheissa tehollisesta työajasta ( $E_0$ ) käytettiin eniten aikaa kouran vientiin (2) (Kuva 11). Kouran viennin osuus kaikilla harvennustavoilla oli 32 - 33 % koko tehoajanmenekistä. Toiseksi eniten aikaa käytettiin rungon prosessointiin (4) ja saman verran puun kaatoon (3), joiden osuudet olivat 16 - 19 % tehoajanmenekistä. Kolmanneksi eniten käytettiin aikaa prosessointiin ajouralta (45) osuuden ollessa 9 - 12 % tehoajanmenekistä. Aputyövaiheista aikaa käytettiin eniten ajoon eteenpäin 6 - 8 % (1) ja kouran tuontiin hakkuunkoneen eteen 4 - 5 % (41) (Kuva 12).



Kuva 10. Työvaiheiden suhteelliset osuudet (%) hakkuun tehoajanmenekistä ( $E_0$ ). M1 = valikoiva harvennus, M2 = käytäväharvennus, jossa käytävän paikka oli merkitty, M3 = käytäväharvennus, jossa kuljettaja valitsi käytävän paikan.



Kuva 11. Päätyövaiheiden suhteelliset osuudet (%) tehoajanmenekistä ( $E_0$ ).



Kuva 12. Aputyövaiheiden suhteelliset osuudet (%) tehoajanmenekistä ( $E_0$ ).

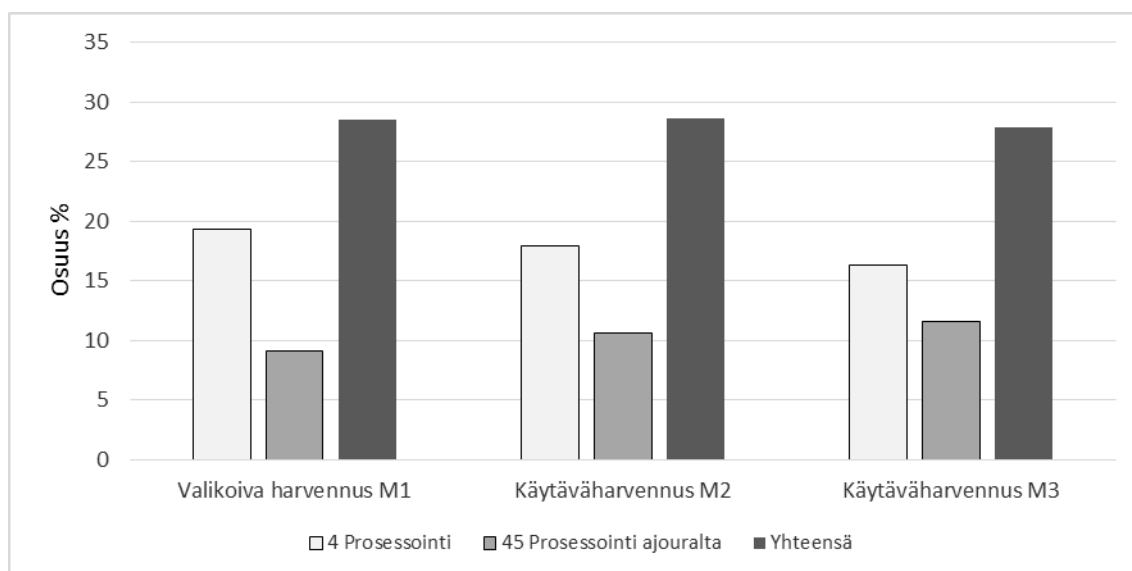
Tutkimuksessa tarkasteltiin myös tehoajanmenekin osaprosesseja hakkuu, työpistesiirtyminen, järjestely, työn suunnittelu ja raivaus. Niiden osuus valikoivan harvennuksen ajanmenekin työvaiheista oli 84 % (kouran vienti, kaato ja kaato siirto 4 m sekä prosessoinnit ajouralta ja välialueelta) ja käytäväharvennuskäsittelyillä M2 83,5 % ja M3:lla 80,3 %. Työpistesiirtymisen osuus valikoivalla harvennuksella oli 11,9 % (ajo eteen ja taaksepäin, kouran tuonti eteen) ja käytäväharvennuksilla M2 11,5 % ja M3 13,9 %. Järjestelyn osuus kaikilla harvennuskäsittelyillä oli noin 1,7 %. Raivauksen osuus valikoivalla harvennuksella oli 2,4 % ja käytäväharvennuksilla M2 1,8 % ja M3 3,6 %.

### 3.2 Prosessointi ajouralta ja välialueelta

Prosessoinnissa puu kaadetaan ajouralta, minkä jälkeen se siirretään välialueelle karsintaa, katkontaa ja kasausta varten. Perinteisellä valikoivalla harvennuksella välialueen puiden prosessointiin kului suhteessa hieman enemmän aikaa kuin käytäväharvennuksessa. Prosessointiin ajouralta (45) ja välialueelta (4) kului aikaa kaikilla koealoilla noin 28 % kokonaistyöajasta (Kuva 13).

Valikoivan harvennuskäsittelyn M1 prosessointiin välialueelta (4) kului aikaa 19,3 % tehotyöajasta ja prosessointiin ajouralta (45) 9,2 %. Käytäväharvennuskäsittelyllä M2,

jossa käytävän ohjeellinen paikka oli merkitty, prosessointiin välialueelta kului tehotyöajasta 17,9 % ja ajouralta 10,6 %. Käytäväharvennuskäsittelyllä M3, jossa kuljettaja valitsi käytävän paikan, prosessointiin välialueelta kului aikaa 16,3 % tehotyöajasta ja ajouralta 11,5 %.



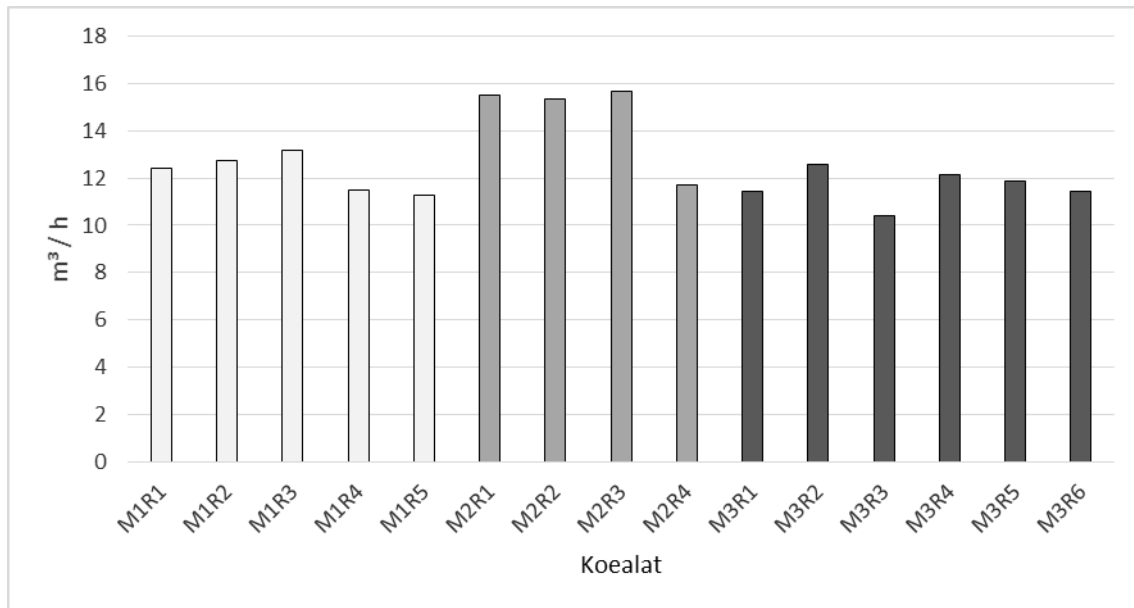
Kuva 13. Runkojen prosessoinnin (karsinta + katkenta) ajanmenekin suhteellinen osuus (%) kokonaistehoajanmenekistä ( $E_0$ ).

### 3.3 Hakkuun tuottavuus

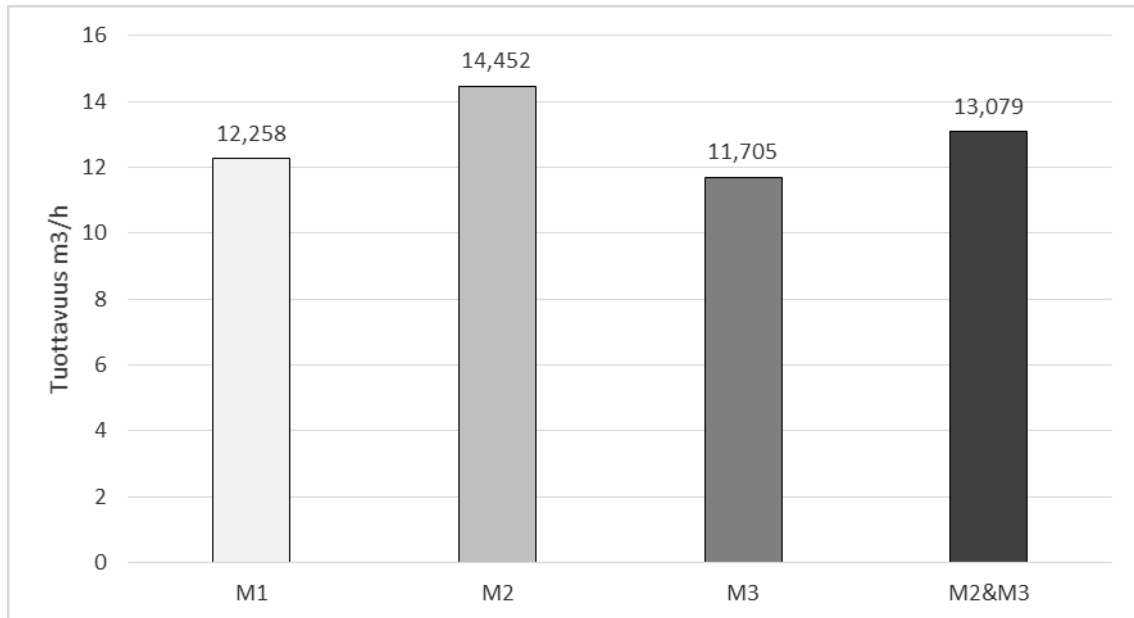
Vertailtaessa koealatasolla viidentoista koealan tuottavuuksia havaittiin, että käytäväharvennuskäsittelyllä M2, jossa käytävän paikka oli merkitty, tehotuntituottavuudet ( $E_0$ ) sen kolmella koealalla olivat suurimmat verrattuna muihin koealoihin (Kuva 14). Tosiasiassa runkotason analyysit paljastivat, että eroa itseasiassa ei ole, vaan tuottavuusero selittyy suuremmalla runkokoolla, etenkin käsittelyssä M2. Perinteisen valikoivan harvennuksen koealoilla tuottavuuden keskiarvo oli 12,3 m<sup>3</sup> tehotunnissa (m<sup>3</sup>/h). Käytäväharvennuskäsittelyllä M2, joissa käytävän ohjeellinen paikka oli merkitty, tuottavuuden keskiarvo oli 14,5 m<sup>3</sup> tehotunnissa ja tuottavuus oli 17,9 % suurempi kuin valikoivalla harvennuksella. Käytäväharvennuskäsittelyllä M3, joissa kuljettaja valitsi käytävän paikan, tuottavuus oli 4,5 % pienempi kuin valikoivalla harvennuksella. Vertailtaessa valikoivan harvennuksen M1 ja käytäväharvennuksien M2 + M3 keskituottavuutta, käytäväharvennuksien tuotta-



vuus tehotunnissa oli 13,1 m<sup>3</sup> ja valikoivan harvennuksen 12,3 m<sup>3</sup> (Kuva 15). Näin laskettuna käytäväharvennuksen tuottavuus oli 6,7 % suurempi kuin valikoivalla harvennuksella.



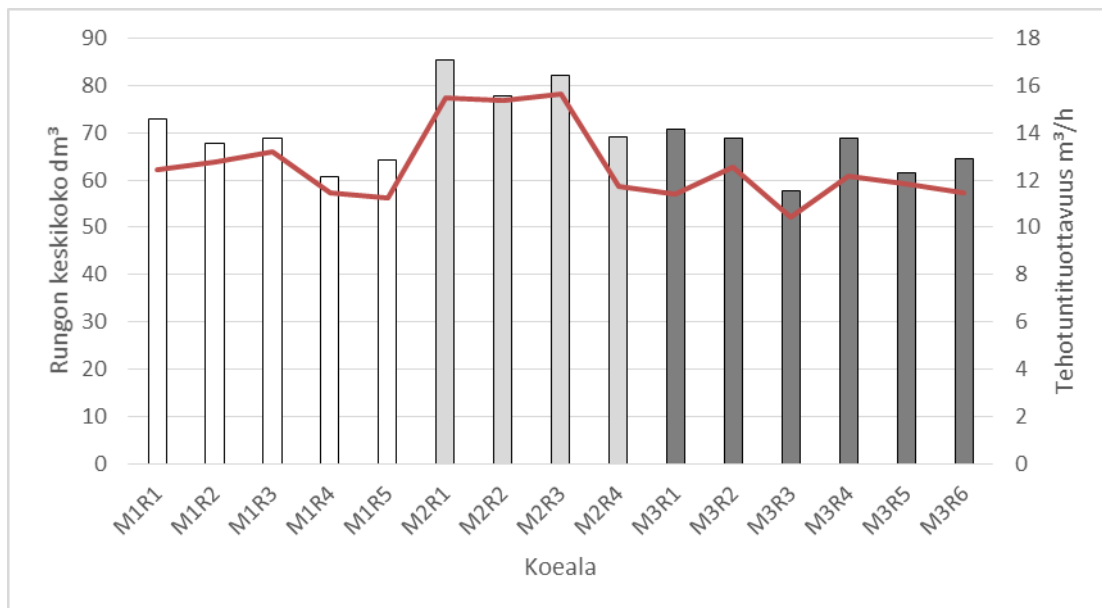
Kuva 14. Hakkuutyön tehotuntituottavuudet (m<sup>3</sup>/h) käsittelyittäin ja koealoittain.



Kuva 15. Hakkuutyön tehotuntituottavuuksien (m<sup>3</sup>/E<sub>0</sub>) keskiarvot kolmella harvennuskäsittelyllä sekä käytäväharvennuksien keskimääräinen tuottavuus.

### 3.4 Poistettujen runkojen keskikoko

Poistettujen runkojen suurin keskikoko oli käytäväharvennuskoealoilla M2, jossa käytävän paikka oli ohjeellisesti merkitty (Kuva 16). Suurin poistettujen runkojen keskikoko 0,0855 m<sup>3</sup> oli käytäväharvennuskoealalla M2R1 ja toiseksi suurin poistettavien runkojen keskikoko 0,0821 m<sup>3</sup> oli käytäväharvennuskoealalla M2R3. Kolmanneksi suurin runkojen keskikoko 0,0777 m<sup>3</sup> oli koealalla M2R2. Kolme pienintä runkojen keskikokoa olivat koealoilla M3R3 0,0577 m<sup>3</sup>, M1R4 0,0606 m<sup>3</sup> ja M3R5 0,0614 m<sup>3</sup>. Käytäväharvennuskäsittelyllä M2, poistettujen runkojen keskikoko oli 17,86 % suurempi kuin valikoivalla harvennuksella M1. Käytäväharvennuksen M3 poistettujen runkojen keskikoko oli 2,27 % pienempi kuin valikoivalla harvennuksella M1.

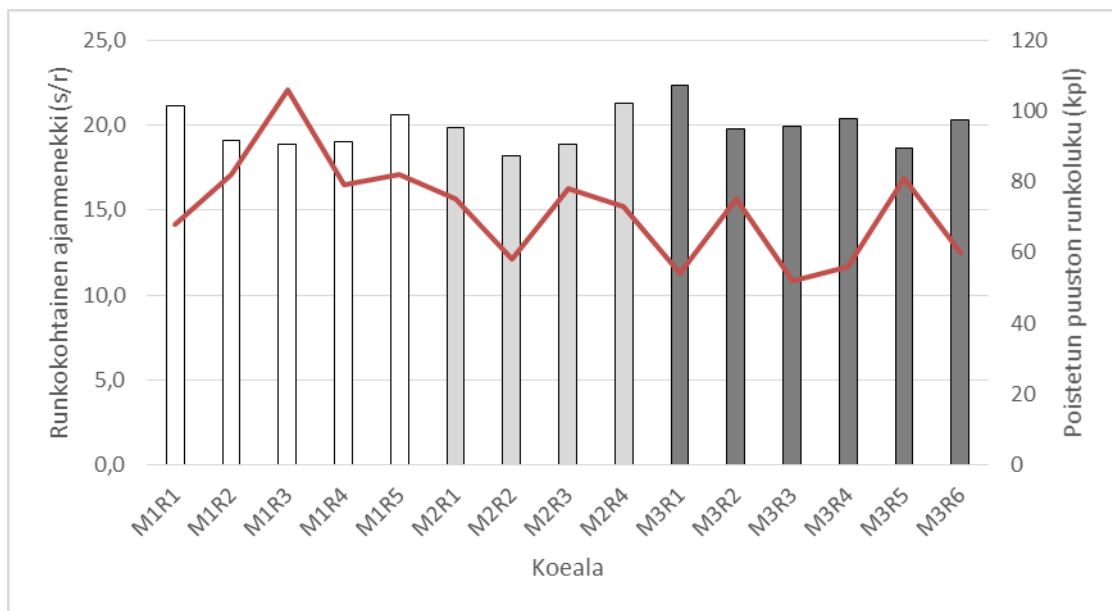


Kuva 16. Runkojen keskitilavuudet (dm<sup>3</sup>/r) ja tehotuntituottavuudet (m<sup>3</sup>/h) käsittelyittäin ja koealoittain. Pylväät kuvaavat runkojen keskitilavuutta ja käyrä tuottavuutta.

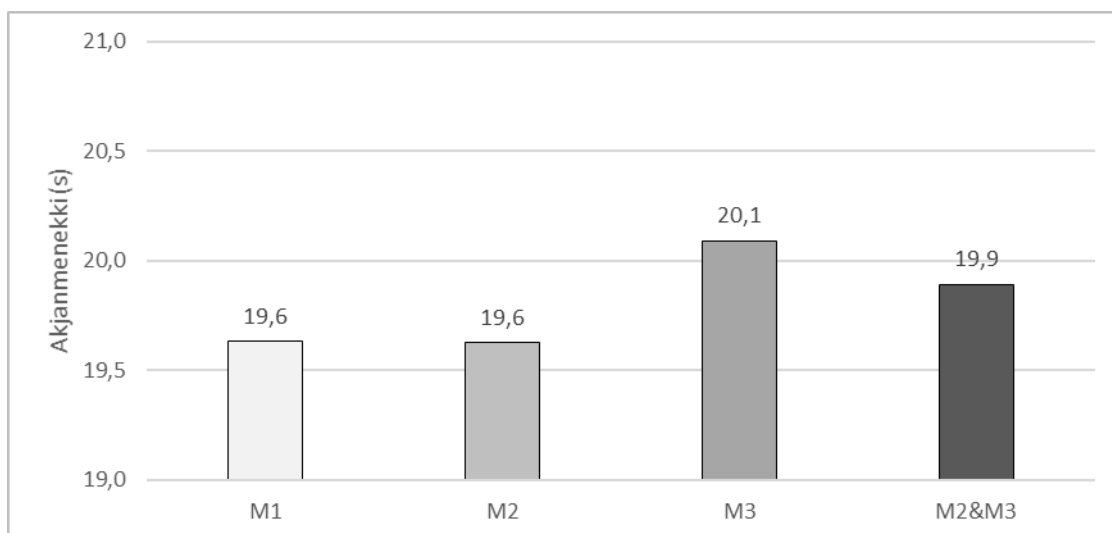
### 3.5 Työvaiheiden ajanmenekit runkoa kohti

Koealojen työvaiheiden pienin tehotyöajanmenekki runkoa kohti oli koealalla M2R2, joka oli 18,2 sekuntia (Kuva 17). Koealan M3R1 keskimääräinen runkokohtainen työaika oli 22,6 sekuntia. Koealan M3R1 runkokohtainen tehotyöaika oli paljon suurempi kuin muiden koealojen tehoajan keskiarvo 20,4 sekuntia, mutta on otettava huomioon, että sen keskimääräinen runkotilavuus oli toiseksi pienin.

Valikoivan harvennuksen työvaiheiden tehoajanmenekin keskiarvo runkoa kohti oli 19,6 s/r (Kuva 18). Käytäväharvennuskäsittelyllä M2, joissa käytävän paikka oli ohjeellisesti merkitty, työvaiheiden keskimääräinen ajanmenekki runkoa kohti oli samoin 19,6 sekuntia. Käytäväharvennuskäsittelyllä M3, jossa kuljettaja valitsi käytävän paikan, työvaiheiden ajanmenekki runkoa kohti oli 2,3 % suurempi kuin valikoivassa harvennuksessa M1. Käytäväharvennuksien M2 + M3 keskimääräinen ajanmenekki runkoa kohti oli 1,3 % suurempi kuin valikoivalla harvennuskäsittelyllä M1.



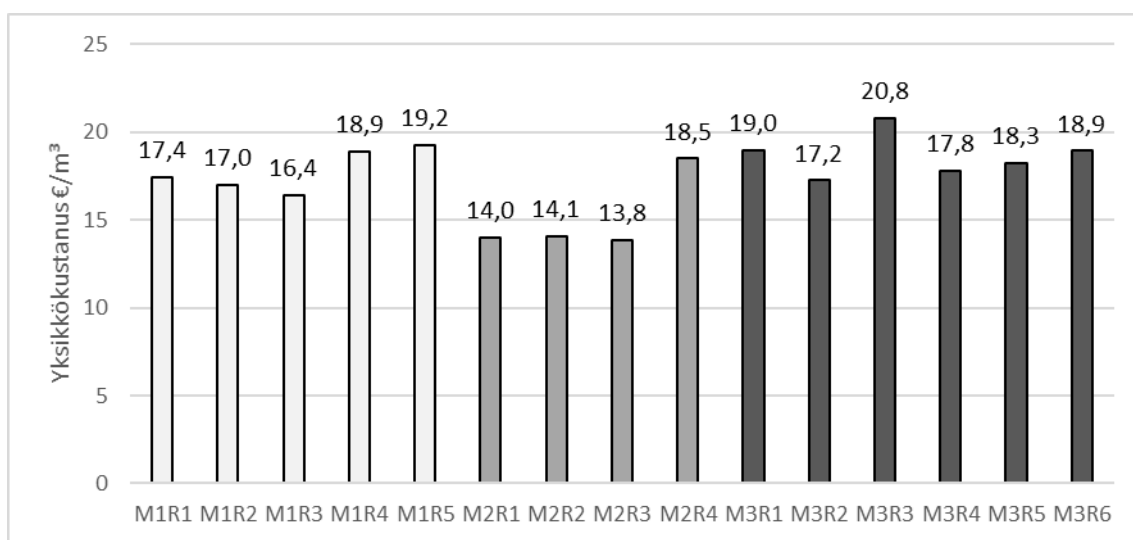
Kuva 17. Runkokohtainen tehotyöajanmenekki ( $E_o$ ) käsittelyittäin ja koealoittain. Pylväät kuvaavat runkokohtaista ajanmenekkiä ja käyrä poistetun puuston runkolukua.



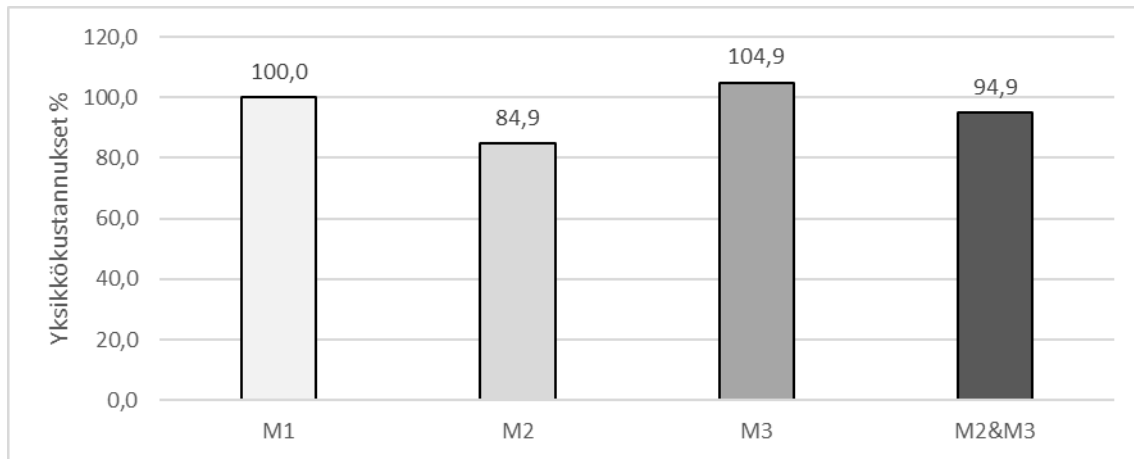
Kuva 18. Hakkuun tehoajanmenekin ( $E_o$ ) keskimääräiset runkokohtaiset työajat eri harvennuskäsittelyillä. M1 = valikoiva harvennus, M2 = käytäväharvennus, jossa käytävän paikka oli merkitty, M3 = käytäväharvennus, jossa kuljettaja valitsi käytävän paikan.

### 3.6 Hakkuun yksikkökustannukset

Tarkasteltaessa koealakohtaisia yksikkökustannuksia, kolme edullisinta yksikkökustannusta (€/m<sup>3</sup>) olivat käytäväharvennuksien M2 koealoilla, joissa käytävän paikka oli ennalta merkitty (Kuva 19). Käytäväharvennuskäsittelyn koealalla M3R3, jossa kuljettaja valitsi käytävän paikan, oli suurin yksikkökustannus 20,8 €/m<sup>3</sup> ja toiseksi suurin 19,2 €/m<sup>3</sup> valikoivan harvennuksen koealalla M1R5. Suurimman ja pienimmän yksikkökustannuksen erotus oli 7 euroa ja kaikkien koealojen yksikkökustannusten keskiarvo oli 17,3 €/m<sup>3</sup>. Valikoivalla harvennuskäsittelyllä M1 koealojen yksikkökustannuksien keskiarvo oli 17,8 €/m<sup>3</sup> ja se oli 15 % suurempi kuin käytäväharvennuskäsittelyllä M2. (Kuva 20). Käytäväharvennuskäsittelyn M3 yksikkökustannuksien keskiarvo oli 5 % suurempi kuin valikoivalla harvennuksella M1 ja 20 % suurempi kuin käytäväharvennuksella M2. Edullisimmat keskimääräiset yksikkökustannukset 15 €/m<sup>3</sup> olivat käytäväharvennuskäsittelyllä M2.



Kuva 19. Keskimääräiset hakkuun yksikkökustannukset (€/m<sup>3</sup>) käsittelyittäin ja koealoittain.



Kuva 20. Harvennuskäsittelyjen suhteelliset (%) yksikkökustannukset (€/m³). M1 = 100.

### 3.7 Tilastolliset analyysit

#### 3.7.1 Poistetut puut

Koealoittain lasketut puiden osuudet kertovat ajouralta ja välialueelta poistetun puuston osuuden ja keskihajonnan otoksessa (Taulukko 2). Selektiivisyys on poistettujen puiden suhde ajouran ja välialueen välillä (Dahlin 2019). Jos tehdään valikoiva harvennus välialueelta, puiden pitäisi olla pienempiä kuin keskimäärin. Ajouralta poistettujen puiden voidaan ajatella olevan näyte puista keskimäärin, ei niin kuin valikoiva harvennus on käytännössä tehty.

*Selektiivisyys laskettiin:*

$$\text{puiden selektiivisyys} = V_{\text{välialue}} / V_{\text{ajoura}} \times 100\%$$

*jossa:*

$V_{\text{ajoura}}$  = poistettujen runkojen keskitilavuus (dm³) ajouralla

$V_{\text{välialue}}$  = poistettujen runkojen keskitilavuus (dm³) välialueella

Taulukko 2. Yhteenvedotaulukko Konneveden tutkimusmetsikön puustotiedoista koealoittain. Selektiivisyys on hakattujen puiden suhteellinen koko (dm<sup>3</sup>) välialueella verrattuna puihin ajouralla. Runkotilavuustiedot (dm<sup>3</sup>) olivat saatavissa 10 koealasta.

Koeala	Poistuman tilavuus m <sup>3</sup> /ha	Koealta poistetut puut yhteensä (kpl)	Ajouralta poistetut puut (kpl)	Välialueelta poistetut puut (kpl)	Välialueelta poistettujen puiden osuus (%)	Poistettujen puiden keskitilavuus (dm <sup>3</sup> )	Poistettujen puiden keskihajonta	Puiden selek- tiivis- syys %
M1 R1	49,6	68	22	46	68	—	—	—
M1 R2	55,5	88	26	62	70	—	—	—
M1 R3	73,1	107	39	68	64	—	—	—
M1 R4	47,9	80	28	52	65	60	60	87
M1 R5	52,7	82	22	60	73	65	65	62
M2 R1	64,1	77	30	47	61	—	—	—
M2 R2	45,1	59	17	42	72	—	—	—
M2 R3	64,0	79	31	48	61	82	55	105
M2 R4	50,5	74	31	43	58	69	44	105
M3 R1	38,2	55	26	29	53	73	53	100
M3 R2	51,7	76	36	40	53	69	42	78
M3 R3	30,0	51	23	28	55	59	35	111
M3 R4	38,6	57	23	34	60	70	35	76
M3 R5	49,7	82	31	51	62	61	40	93
M3 R6	38,7	61	15	46	75	65	45	107

Eli selektiivisyys on hakattujen puiden suhteellinen koko välialueella verrattuna puihin ajouralla. Esimerkiksi koealan M1R4 välialueelta poistettujen puiden tilavuus on 87 % verrattuna ajouran puihin. Selektiivisyys on laskettu koealoittain olettaen, että olosuhteet koealoilla ovat samanlaiset. Havaintojen vähäisen määrän takia ei ollut tarkoitus löytää merkitseviä eroavaisuuksia koealojen välillä.

Poistettujen puiden määrät ja keskitilavuudet vaihtelivat sattumanvaraisesti koealojen välillä. Voidaan olettaa, että keskiarvot noudattavat likimain normaalijakaumaa. Käytännössä otoskeskiarvojen normaalijakautuneisuus voidaan olettaa jo otoskoosta 30 alkaen, ellei muuttujan arvojen jakauma perusjoukossa ole erityisen poikkeava (Tilastoapu 2012).

Käsittelyllä M1 poistettujen puiden määrien keskiarvo oli suurin ja samoin myös välialueelta poistettujen puiden osuus (Taulukko 3). Runkotilavuuden keskiarvo käsittelyllä M1 oli pienempi verrattuna käsittelyihin M2 ja M3. T-testillä mitattaessa kahden eri käsittelyn keskiarvojen eroa havaittiin, että valikoivalla harvennuksella M1 poistettujen runkomäärien keskiarvo 85 kpl (keskihajonta 14,3, n=5), poikkesi käytäväharvennuksen M3 runkojen määrästä 63,7 kpl (keskihajonta 12,5, n=6). Käsittelyt M1 ja M3 eroavat tilastollisesti merkitsevästi poistettujen runkomäärien suhteen ( $p = 0,05$ ). Nollahypoteesin

(H<sub>0</sub>) mukaan koealojen tai harvennuskäsittelyiden välillä ei ole eroja, jotka johtuvat poistettujen puiden sijainnista ja lukumäärästä. Nollahypoteesi hylätään ja vastahypoteesi (H<sub>1</sub>) astuu voimaan, koska p-arvo on pienempi kuin 0,05.

Taulukko 3. Konneveden tutkimusmetsikön tilastollisia puustotietoja harvennuskäsittelyittäin. Runkoluvut (kpl) olivat saatavissa kaikista 15 koealasta ja runkotilavuustiedot (dm<sup>3</sup>) 10 koealasta.

Käsittely	Koealat (kpl)	Koealalta poistetut puut (kpl)		Välialueelta poistettujen puiden osuus (%)		Koealat (kpl)	Runkotilavuus (dm <sup>3</sup> )		Selektiivisyys %
		Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta		Keskiarvo	Keskihajonta	
M1	5	85,0	14,3	68	3,9	2	63	39,0	74
M2	4	72,3	9,1	63	5,8	2	76	50,0	105
M3	6	63,7	12,5	60	8,7	6	64	42,2	91

### 3.7.2 Ajanmenekki ja tuottavuus

Testattaessa, että vaikuttiko puiden sijainti ajouralla tai välialueella hakkuun runkokoh-  
taiseen ajanmenekkiin ja oliko ajourakeskiarvo merkitsevästi erilaisempi kuin välialueen  
keskiarvo, ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ajouran ja välialueen välillä (Tau-  
lukko 4). Tutkittaessa käsittelyittäin puiden korjuun ajanmenekkien keskiarvoja ja keski-  
hajontoja, ei myöskään siinä havaittu merkitseviä eroja (Taulukko 5). Nollahypoteesin  
(H<sub>0</sub>) mukaan koealojen tai harvennuskäsittelyjen välillä on eroa, joka johtuu poistettujen  
puiden korjuun ajanmenekistä ja sijainnista. Nollahypoteesi (H<sub>0</sub>) hylätään ja vastahypo-  
teesin astuu voimaan (H<sub>1</sub>), jonka mukaan ajanmenekkien erot johtuvat ainoastaan satun-  
naisvaihtelusta.

Taulukko 4. Hakkuun runkokohtainen ajanmenekki käsittelyittäin ja koealoittain ajouralla ja välialueella.

Koeala	Koealalta poistetut puut (kpl)	Ajanmenekki s/puu		Ajanmenekki ajouralla s/puu		Ajanmenekki välialueella s/puu	
		Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta
M1 R1	68	18,5	5,3	18,5	4,8	18,5	5,6
M1 R2	88	16,6	4,0	16,2	3,8	16,7	4,1
M1 R3	107	17,3	4,7	17,3	4,8	17,3	4,8
M1 R4	80	17,0	5,5	16,2	3,8	17,4	6,2
M1 R5	82	18,4	7,0	16,4	3,6	19,2	7,8
M2 R1	77	17,5	6,6	17,1	4,9	17,8	7,5
M2 R2	59	16,3	5,8	18,1	8,8	15,5	3,8
M2 R3	79	18,5	6,3	17,3	4,9	19,3	6,9
M2 R4	74	18,5	9,0	20,3	12,2	17,3	5,6
M3 R1	55	18,9	8,4	18,1	9,8	19,6	6,9
M3 R2	76	17,3	5,1	17,6	5,6	17,1	4,7
M3 R3	51	16,8	4,6	17,0	4,5	16,7	4,8
M3 R4	57	16,8	5,2	16,9	6,8	16,6	3,9
M3 R5	82	16,0	4,3	16,6	4,3	15,7	4,3
M3 R6	61	17,8	6,8	19,9	9,9	17,1	5,3

Taulukko 5. Poistettujen puiden ajanmenekkien keskiarvot ja keskihajonnat käsittelyittäin.

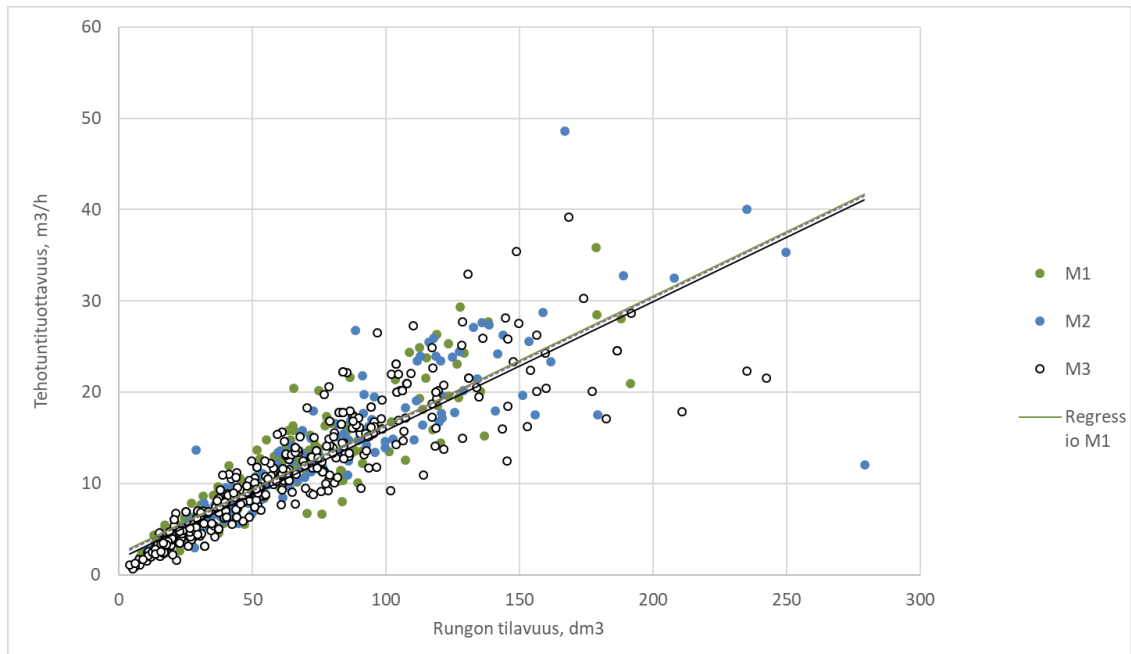
Käsittely	Koealat (kpl)	Ajanmenekki s / puu		Ajanmenekki ajouralla s / puu		Ajanmenekki välialueella s / puu	
		Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta
M1	5	17,6	0,87	16,9	0,99	17,8	0,99
M2	4	17,7	1,08	18,2	1,45	17,5	1,56
M3	6	17,3	0,99	17,7	1,23	17,1	1,31

### 3.7.3 Rungon tilavuuden vaikutus hakkuun tuottavuuteen

Puun tilavuus on hyvin merkitsevä tekijä hakkuun tuottavuudessa, kuten oli odotettavissa. Koealatasolla harvennuskäytävämenetelmien tuottavuus osoittautui korkeammaksi kuin perinteisen alaharvennuksella toteutetun valikoivan harvennuksen tuottavuus. Kuitenkin käytäväharvennuskoealoilla poistetut rungot olivat järeämpiä kuin valikoivan harvennustavan koealoilla. Kun runkojen järeyden tiedetään vaikuttavan eniten hakkuutyön tuottavuuteen (Jylhä ym. 2019) ja kun aineiston keruun yhteydessä hakkuukone rekisteröi hakattujen runkojen tilavuuden, haluttiin erikseen tarkastella ja mallittaa runkojen järeyden



vaikutusta hakkuutyön tuottavuuteen kaikissa kolmessa valitussa harvennustavassa (M1, M2, M3). Eri käsittelyjen välillä ei ole eroa siinä, miten rungon tilavuus vaikuttaa hakkuun tuottavuuteen. Kuvioon piirretty regressiosuora osoittaa runkotilavuuden (dm<sup>3</sup>) ja tuottavuuden (m<sup>3</sup>/h) välisen yhteyden voimakkuuden (Kuva 21). Runkokoon kasvaessa myös hakkuun tuottavuus kasvaa. Otokoko 685 runkoa otettiin kymmeneltä koealalta, joista puuston tilavuustiedot olivat saatavilla.



Kuva 21. Puun tilavuus on merkitsevä tekijä hakkuun tuottavuudessa. Regressiosuora osoittaa runkotilavuuden ja tuottavuuden välisen yhteyden eri harvennusmenetelmillä.

Tavoitteena mallissa oli ja on poistaa rungon koon vaikutus eri käsittelyissä M1, M2 ja M3. Regressiomallilla selvitettiin rungon koon (dm<sup>3</sup>) ja tuottavuuden (m<sup>3</sup>/h) välistä yhteyttä. Regressiomallin lauseke on  $y = a + b \cdot M2 + c \cdot M3 + d \cdot \text{out}$ , missä y on harvennushakkuun tuottavuus (m<sup>3</sup>/h), a on vakiotermi, b, c, d ovat kertoimia ja ulos on Dummy-muuttuja poistettujen puiden sijainnille: 1 välialueella ja 0 ajouralla (Taulukko 6). Regressiomallin otoskoko oli mallissa 685 runkoa. Korjatulla R<sup>2</sup>-arvolla eli selitysasteella 77,8 % verrataan useamman selittävän muuttujan mallin tuloksia keskenään ja se ottaa huomioon mallin sisältämien selittävien muuttujien lukumäärän. Estimaatin keskivirhe 3,363039 luku ilmoittaa regressiomallin virhetermien keskihajonnan. (Menetelmävaratieto 2019).

Taulukko 6. Tulostaulukko regressiomallin kertoimista.

	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>T-Testi</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Ylempi 95%</i>	<i>Alempi 95%</i>
Vakiotermi	2,6	0,38	6,91	0	1,86	3,34
M2	-0,16	0,38	-0,43	0,67	-0,92	0,59
M3	-0,58	0,32	-1,83	0,07	-1,21	0,04
Ulos (välialue/ajoura)	-0,28	0,27	-1,07	0,28	-0,81	0,24
Puun tilavuus (dm <sup>3</sup> )	0,14	0	48,57	0	0,14	0,15

*Regressiomalli on muotoa  $y = 2,6 - 0,16 * M2 - 0,58 * M3 - 0,28 * ulos + 0,14 * puun\ tilavuus$ , jossa:*

*$y =$  Tehotuntituottavuus (m<sup>3</sup>/h)*

*$M2 = 1$  jos käsittely on yhtä suuri kuin 2 muuten 0*

*$M3 = 1$  jos käsittely on yhtä suuri kuin 3 muuten 0*

*$ulos = 1$  jos puu on välialueella muuten 0*

*$puun\ tilavuus\ (dm^3) = puun\ tilavuus$  (Tuottavuus lisääntyy, kun puun tilavuus kasvaa)*

Esimerkki 1. oletetaan, että käsittelyssä M2 poistetut puut 80 kpl sijaitsevat ajourien välialueella. Harvennuksen tuottavuus (m<sup>3</sup>/ha) lasketaan seuraavasti:

$$y = 2,6 - 0,16 * 1 - 0,58 * 0 - 0,28 * 1 + 0,14 * 80$$

*Tuottavuudeksi saadaan 13,36 m<sup>3</sup>/h*

Esimerkki 2. oletetaan, että käsittelyssä M3 poistetut puut 90 kpl sijaitsevat ajourien välialueella. Harvennuksen tuottavuus (m<sup>3</sup>/ha) lasketaan seuraavasti:

$$y = 2,6 - 0,16 * 0 - 0,58 * 1 - 0,28 * 1 + 0,14 * 90$$

*Tuottavuudeksi saadaan 14,34 m<sup>3</sup>/h.*

Käsittelyn M3 runkotilavuuden (dm<sup>3</sup>) vaikutus tuottavuuteen (m<sup>3</sup>/h) on tilastollisesti lähellä merkitsevää ( $p = 0,07$ ). Käsittelyssä M3 tuottavuus 0,58 on kertaa pienempi verrattuna käsittelyyn M1. Itseasiassa kyse ei ole kertaluokasta, vaan että käsittelyn M3 tuottavuus on 0,58 m<sup>3</sup>/h, eli regressiomallin mukaan  $y = \dots - 0,58 * M3$ . Jos M3 on = 1 eli käytössä on käytäväharvennusmenetelmä M3, niin tällöin M3 = 1 ja lauseke  $-0,58 * M3$  saa arvon -0,58. Sama analogia pätee käytäväharvennusmenetelmään M2, jossa kerroin on vain miedompi eli -0,16, joten vaikutus on lievempi. Mutta se mitä tämä regressioanalyysi

itseasiassa kertoo, on että käsittelyjen väliltä ei voida löytää merkitseviä muuttujia paitsi puun tilavuus. Muut erot voivat olla vain sattumanvaraisia.

## 4. TULOSTEN TARKASTELU

### 4.1 Aineisto

Käytäväharvennusmenetelmä oli kuljettajalle uusi ja tutkimusvideoilta havaittiin, että yksittäisten poistettavien runkojen valintaa tehtiin satunnaisesti alaharvennusmenetelmän mallia mukaillen. Kuljettaja oli ohjeistettu poistamaan puita tarvittaessa myös välialueilta. Bergström (2009) totesi tutkimuksessaan, ettei kuljettaja suorittanut tiukasti käytäväharvennusmenetelmää, kun hän sai valita vapaasti käytävän paikan ja koon. Kasvushakkuissa alaharvennusmenetelmällä poistettavien puiden valintaan käytetään yleisesti työmenetelmää, jossa työpiste jaetaan paloihin eli sektoreihin ja jossa tavoitteena on jättää kasvamaan tilajärjestykseltään tasainen ja laadultaan hyvä puusto (Kokkarinen 2012). Käytäväharvennusmenetelmässä harvennustiheys ja tilajärjestysperiaate eivät toteudu alaharvennuksen kaltaisesti. Testihakkuiden kuljettaja oli omaksunut käytäväharvennusmenetelmän tavoitteet kuitenkin hyvin.

Havaintojen perusteella voitiin todeta, että kuljettajan ammattitaidolla oli ajanmenekkiin suuri vaikutus. Tätä tosin ei tutkittu tässä työssä. Kuljettajan oli tehtävä työn suunnittelua ja hakkuutyötä samanaikaisesti sekä ennakoitava hakkuun seuraavia työvaiheita. Kuljettajan oli esimerkiksi väisteltävä pystypuita tai joskus hakkuukoura oli vedettävä takaisin, kun se ei osunut kohteen suuntaan oikeassa asennossa. Koneellisen korjuun opaskirjan mukaan kuljettajan työmuisti kykenee valitsemaan ja käsittelemään kerralla 3 - 5 poistettavaa puuta (Kokkarinen 2012).

Konneveden tutkimusaineisto oli laadullisesti hyvä ja se oli kerätty viideltätoista koealalta. Käytettävissä oli laaja leimikkoaineisto ja videomateriaali, joiden perusteella aikatutkimus ja harvennusmenetelmien tarkastelu voitiin tehdä. Harvennuskäsittelykoealoilta poistettujen runkojen lukumäärän keskiarvo oli 719 kpl ja jäljelle jäävän puuston runkolukujen keskiarvo oli 908 kpl. Aikatutkimus käsitti noin 1100 runkoa, joiden kokonaistilavuus oli noin 75 kiintokuutiometriä. Esimerkiksi Bergströmin ym. (2010) energiapuu-tutkimuksessa koealojen määrä oli kuusitoista kappaletta ja lähtöpuuston tiheys oli 4400 – 18600 runkoa hehtaarilla ja tiheys harvennuksen jälkeen noin 1500 runkoa hehtaarille.

Energiapuuharvennusten tutkimuksissa puuston tiheydet ovat luonnollisesti suurempia ja samoin kuin jäljelle jäävän puuston määrä. Käytäväharvennustutkimukset pohjoismaissa ovat tehty pääasiallisesti energiapuun korjuusta.

## 4.2 Menetelmät

Metsätyön tutkimuksissa on käytetty yleisesti havainnointitutkimusta, jossa tutkittavasta työstä kootaan tietoa hakkuutyötä seuraamalla ja siitä havaintoja tekemällä. Esimerkiksi Fixteri FX15a kokopuun tuottavuustutkimuksessa testihakkuuta havainnoi yksi työntutkija, joka tallensi työvaiheiden ajanmenekit maastotallentimelle (Nuutinen ja Björheden 2014). Energiapuun tuottavuustutkimuksessa tiheässä koivikossa käytettiin hakkuukoneen työvaiheiden tallentamiseen kannettavaa videokameraa (Jylhä ja Bergström 2016). Videokameratekniikan kehitys on ollut nopeaa ja se tarjoaa uusia mahdollisuuksia myös metsätyötutkimuksiin. Pienet kypäräkamerat tarjoavat hyvää kuvanlaatua ja monipuolista muunneltavuutta, kuten Konneveden tutkimus osoitti. Aikatutkimuksen tarkastelussa saatiin esille perinteisen alaharvennuksen ja käytäväharvennuksen eroavaisuuksia. Harvennusmenetelmät silmämääräisesti videoilta arvioituna eivät tuoneet esille niin paljon ajanmenekkien eroja kuin olisi voinut ennalta arvioida. Menetelmien työvaiheiden ajanmenekkien erot saatiin esille kellotusaineiston aikoja analysoimalla. Videotutkimusaineisto oli kuvattu siten, että hakkuukoneenkuljettaja oli varustettu päähän sijoitetulla kypäräkameralla. Lisäksi työtutkija oli mukana koneen hytissä ja teki havaintoja kokeen kulusta. Videoiden perusteella nähtiin, että työntutkija ja kuljettaja keskustelivat hakkuun aikana työn etenemisestä ja sen vaikutuksista. Voisi silti helposti uskoa, että tällä olisi jotakin vaikutusta hakkuukoneenkuljettajan työsuoritukseen.

Aikatutkimuksessa havaittiin, että hakkuulaitteen liikuttelu valikoivalla harvennuksella vaati enemmän sivuttaissiirtoja kuin korjattaessa puuta käytäväharvennusmenetelmällä suoralta linjalta. Bergströmin ym. (2010) vertailututkimuksessa todettiin, että käytäväharvennusmenetelmällä hakkuulaitteen liikuttelu vei vähemmän aikaa, koska kaikki puomin suunnassa olevat puut kaadetaan ja jäljelle jääviä puita ei tarvitse väistellä sivuttaisilla liikkeillä. Koneenkuljettajan hakkuutyöhön käyttämä suunnittelu-aika näkyy vain vähäisessä määrin työvaiheiden ajanmenekissä ja se havaittiin paremmin videoilta työvaihe-seurannasta sekä kuljettajan suullisista kommenteista.

Käytäväharvennuskäsittelyllä M2, joissa käytävien paikat oli ennalta merkitty, kuljettajan ei tarvinnut käyttää aikaa käytävälinjan paikan suunnitteluun. Käytävien paikat oli merkitty leimikolle ennakkoon maastotyönä ja tämä työ pitäisi laskea mukaan harvennusmenetelmän ajanmenekkiin ja kustannuksiin. Tässä tutkimuksessa sitä ei otettu huomioon, koska tarvittavia tietoja ei ollut saatavilla. Tutkimuskoealat olivat samankaltaisia, mutta puiden koossa ja tilajärjestyksessä oli kuitenkin pieniä eroja.

Kuljettajan ja koneen liikehdintä hakkuutyön aikana aiheutti videokuvaan satunnaisesti epätarkkuutta ja ylimääräistä liikettä. Nämä epätarkat työvaiheet oli tarkistettava videoilta useampaan kertaan sekä verrattava niitä puustoaineiston tietoihin. Työskentelyolosuhteet koeleimikoiden maastossa olivat hyvät ja alkusyksyn sää oli kuiva sekä näkyvyys hyvä. Muutamalla koealalla aurinko oli häikäissyt videokameraa joissakin työvaiheissa ja se vaikeutti joiltain osin kellotusta. Kolmas analysointia haittaava tekijä oli harvennuskoealojen alikasvos, joka joissakin tutkimusvideoissa peitti näkyvyyden hakkuulaitteeseen. Tämä vaikeutti hieman työvaiheen alku- ja päättymisajankohdan havaitsemista. Alikasvos oli suurin yksittäinen häittatekijä aikatutkimuksessa videoilta, eikä siihen olisi ollut mahdollista vaikuttaa koejärjestelyissäkään. Alikasvoksella oli vain vähän vaikutusta aikatutkimuksen tarkkuuteen tai se vähintäänkin lisäsi aikatutkimuksen työaikaa.

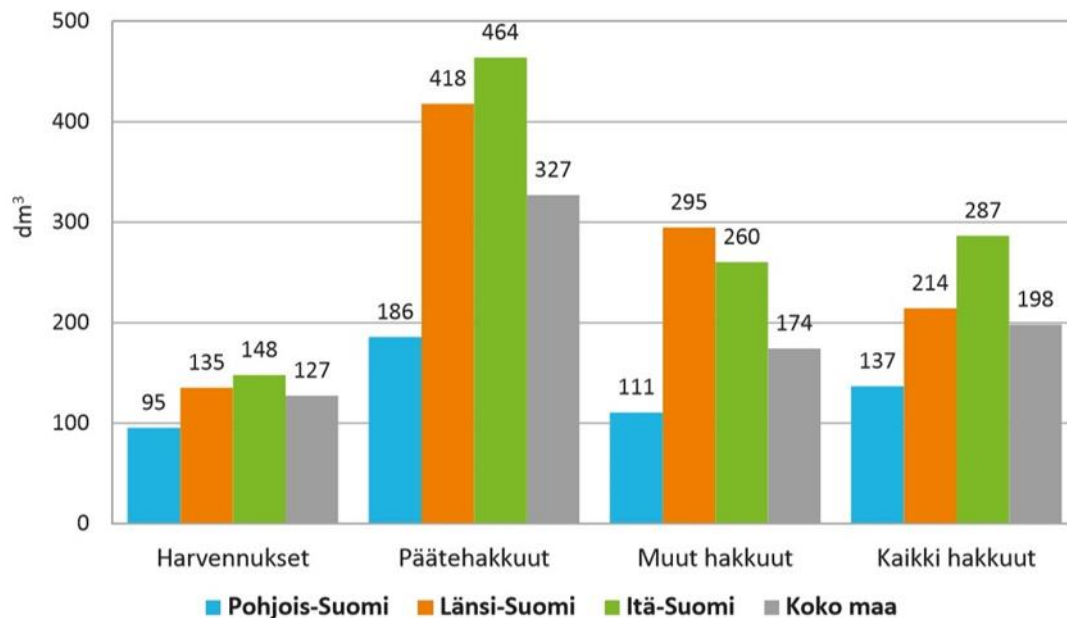
#### **4.3. Tulokset**

Tutkimuksessa havaittiin, että kaikilla harvennustavoilla kolmannes tehollisesta työajasta kului hakkuukouran vientiin ja siihen liittyvään puomin kääntöön. Samankaltainen tulos saatiin Bergström ym. (2010) tutkimuksessa, jossa vertailtiin puomikäytäväharvennuksen ja valikoivan harvennuksen eroja nuorissa tiheissä mäntymetsissä. Käytäväharvennuskäsittelyllä M2 tuottavuus (m<sup>3</sup>/h) oli 17,9 % korkeampi kuin valikoivassa harvennuksessa M1, mutta tämä johtui siitä, että M2 käsittelyssä rungon koko oli selvästi suurempi ja tuottavuus oli siksi parempi. Tuottavuus oli samaa suuruusluokkaa kuin Bergströmin ym. (2010) käytäväharvennuksen ja valikoivan harvennuksen vertailussa, jossa käytäväharvennuksella saavutettiin 16 % suurempi tuottavuus, kun korjattiin energiapuuta keräällä kaatopäällä. Bergströmin ym. (2010) toisessa tutkimuksessa todettiin, että käytäväharvennusmenetelmän käyttö ensiharvennusmetsissä voi kasvattaa korjuutuottavuutta keskimäärin 16 %. Tutkimuksen mukaan tuottavuus voisi kasvaa jopa kaksikertaiseksi,

jos käytössä olisi käytäväharvennukseen kehitettyä teknologiaa (Bergström 2009). Toisaalta Isomäki ja Väisänen (1980) totesivat, että heidän tutkimuksensa leimikkoaineiston ja tulosten mukaan täyssystemaattisen harvennuksen edut eivät olleet ratkaisevan suuria, kun tutkittiin harvennustavan vaikutusta kasvatettavaan puustoon ja harvennuskertymään. Tutkimus oli toteutettu 30 metrin ajouravälillä vuonna 1980 ja puunkorjuumenetelmät ovat kehittyneet tästä huomattavasti. Käytäväharvennuksen tuottavuudet M2 koealoilla olivat suurimmat ja havaittiin, että sen koealoilla keskimääräinen tehotuntituottavuus nousi voimakkaammin runkokoon kasvaessa verrattuna toisiin koealoihin. Käytäväharvennuksen M2 käytävien paikat oli ennakkoon merkitty verrattuna käytäväharvennukseen M3, joissa kuljettaja valitsi käytävän paikan. Havaintojen perusteella voidaan esittää, että kuljettaja käytti hieman suunnittelu-aikaa käytävän paikan valintaan. Käytäväharvennuskäsittelyn M3 tuottavuus oli 4,5 % pienempi kuin valikoivilla harvennuskäsittelyillä.

Käytäväharvennuskoealoilla M3 tuottavuuden tulokseen vaikutti poistettujen runkojen 17 % pienempi keskikoko verrattuna käytäväharvennusten koealoihin M2 ja 2 % pienempi keskikoko verrattuna alaharvennuskoealoihin M1. Käytäväharvennuksen M3 pienemmällä puuston lähtötilavuudella oli myös vaikutusta hakkuun tuottavuuteen. Käytäväharvennuskäsittelyjen M2 + M3 keskiarvojen tuottavuus oli 6,7 % suurempi kuin alaharvennuksella, joten käytäväharvennuksen tuottavuus oli parempi kuin valikoivalla harvennuksella M1. Tässä tutkimuksessa havaittiin myös, että pieniläpimittaisen puun yksinpuin korjuuna (57–85 dm<sup>3</sup>) runkokoolla on vaikutusta ajanmenekkiin. Maasto kaikilla koealoilla oli tasainen ja hakkuukoneelle helppokulkuinen, joten näillä ominaisuuksilla ei ollut vaikutusta tuottavuuseroihin. Koealojen puusto oli melko samankaltainen ja tuottavuuksien erot voitiin havaita hyvin eri harvennuskäsittelyjen välillä. Alikasvoksen todettiin hidastavan sekä korjuutyötä leimikolla että vyövaiheiden aikatutkimusta. Nuutisen ja Björhedenin (2014) Fixteri kokopuunpaalain tuottavuustutkimuksessa alikasvos energia-puukuviolla alensi tehotuottavuutta noin 18 % samalla kun kokopuiden keskikoko pieneni. Koealoilta poistettujen runkojen keskitilavuudet olivat välillä 57,7 dm<sup>3</sup>- 85,5 dm<sup>3</sup> ja runkojen keskikoon erotus on vain 28 dm<sup>3</sup>. Verrattaessa yksinpuin korjuuta joukkokäsittelyvän kouran tehokkuuteen, keskikooltaan 84 dm<sup>3</sup> puut olivat liian suuria tehokkaaseen joukkokäsittelyyn, joka menetelmänä soveltuu parhaiten 27–44 dm<sup>3</sup>:n puille (Nuutinen & Björheden 2014).

Koneellisen hakkuun seurantalutkimuksessa rungon keskimääräinen tilavuus harvennus-hakkuilla oli 127 dm<sup>3</sup> koko maassa (Jylhä ym. 2019). Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa ajantasaista tietoa hakkuukoneiden tuottavuustasosta ja korjuuolosuhteista niiden keräämisen seurantaliedon avulla. Tutkimuksessa kerätyistä tiedoista esitettiin diagrammi runkojen keskitilavuuksista hakkuutavoittain ja alueittain koko Suomessa (Kuva 22). Konneveden koealojen keskimääräinen runkotilavuus kaikilla harvennusmenetelmillä oli 70,3 dm<sup>3</sup>.



Kuva 22. Rungon keskitilavuudet hakkuutaparyhmittäinen ja alueittain (Jylhä ym. 2019).

Pohdittaessa aikatutkimustulosten luotettavuutta on todettava, että tulokset ovat niin hyviä kuin aikatutkimusohjelmalla ja laskentaohjelmalla voitiin saavuttaa. Kellotustulos tarkistettiin joiltakin koealoilta useaan kertaan, kun haluttiin todeta työvaiheiden oikeat alku- ja lopetusajat tai kun havaittiin työvaiheiden järjestyksessä epäloogisuutta. Pienet virheet työvaiheajoissa tai yksittäisen työvaiheen puuttuminen ei vaikuta paljonkaan aikatutkimuksen lopputulokseen. Verrattaessa Konneveden tutkimusta muihin vastaaviin aika- ja tuottavuustutkimuksiin nähdään, että tämän kaltaisissa metsätyötutkimuksissa käytetään yleisesti samanlaisia metodeja niin koealojen koon kuin aineiston laajuudenkin suhteen. Esimerkiksi Bergströmin ym. puomikäytäväharvennuksen ja valikoivan harvennustutkimuksessa koealojen määrä oli 16 kpl ja koealojen koko oli 50 x 20 metriä (Bergström ym. 2010). Myös Fixteri -tutkimuksessa koealaruudun koko oli 50 x 20 m (Nuutinen ja Björheden 2014).



Molemmilla hakkuutavoilla kouran vientiin ja kaatosahaukseen kului tehotyöajasta kolmannes, kun käytettiin keräävää hakkuulaitetta. Aputyövaiheista eniten aikaa käytettiin hakkuukoneen eteenpäin ajoon, johon liittyi usein hakkuulaitteen tuonti eteen. Päällekkäisistä työvaiheista kouran vienti ja ajo eteenpäin tai taaksepäin, kouran viennillä oli etusija ja sen aika kelloitettiin. Harvennusmenetelmien tehoajanmenekin osaprosessien osuuksien välillä ei havaittu merkittäviä eroja. Prosessoinnin osuus oli korkea kaikilla harvennusmenetelmillä, noin 85 % ja se saattaa kertoa helposta työympäristöstä.

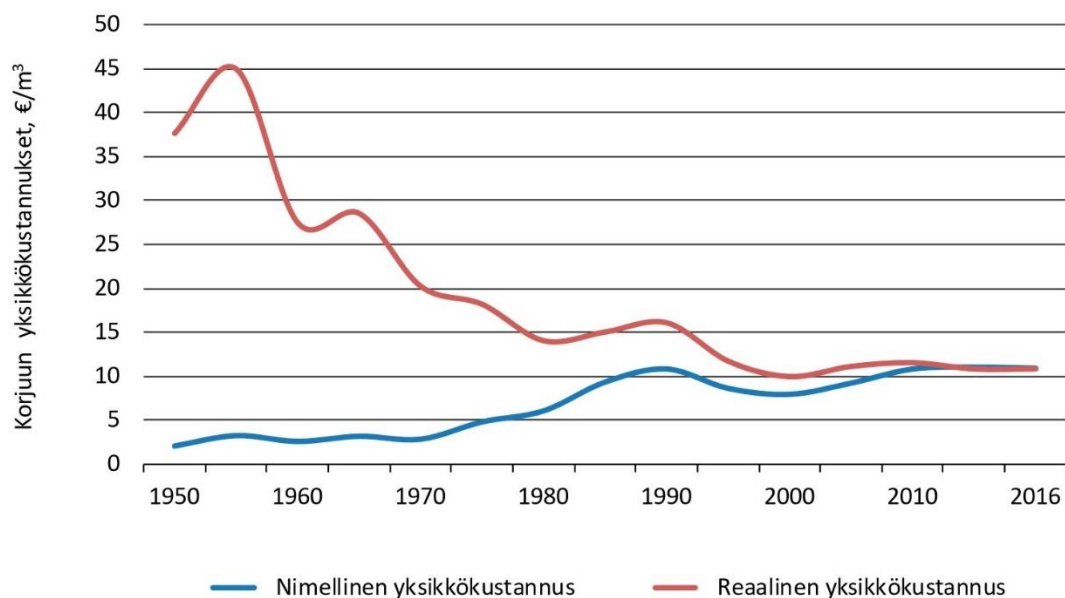
Tilastanalyseissä poistettujen runkomäärien keskiarvoissa havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja harvennuskäsittelyjen välillä. Muissa analyyseissä ja mallinuksissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja koealojen tai käsittelyjen välillä. Regressioanalyysissä käytetty malli oli yksinkertainen, jossa jokainen tekijä lisätään malliin. Analyyseissä kokeiltiin myös monimutkaisempia logaritmisia malleja, mutta ne eivät antaneet yhtään parempia tuloksia. Regressioanalyysin tulokset olivat samansuuntaisia ja todettiin, että käsittelyjen väliltä ei löydetä muita merkitseviä muuttujia kuin puun tilavuus. Puun tilavuuden havaittiin olevan merkitsevä tekijä hakkuun tuottavuudessa. Myös muiden tutkimusten mukaan harvennushakkuissa rungon keskitilavuudella on suuri vaikutus myös tehoajanmenekkiin (Jylhä ym. 2019). Tilastollisten menetelmien tuloksista ei voida tehdä suoria johtopäätöksiä, koska erot koealojen ja käsittelyjen ajanmenekeissä ovat pieniä. Vertailua muihin tutkimuksiin on vaikea tehdä, koska puiden sijainnin vaikutuksesta hakkuuseen ei ollut aineistoa saatavilla.

#### **4.4 Kustannukset**

Koneellisen puunkorjuun yksikkökustannukset vuonna 2016 olivat keskimäärin 10,82 €/m<sup>3</sup> ja ne laskivat 1 %:n verrattuna vuoteen 2015 (Strandström 2017). Ensiharvennuksen koneellisen puunkorjuun yksikköhinta vuonna 2016 oli 16,71 €/m<sup>3</sup>, uudistushakkuun 8,18 €/m<sup>3</sup> ja muun harvennuksen yksikköhinta 13,91 €/m<sup>3</sup>. Metsätehon tilastojen mukaan koneellisen puunkorjuun yksikköhinnat ovat pysyneet lähes samoina vuodesta 2006 alkaen (Strandström 2017). Puunkorjuutaksat perustuivat vuoteen 1991 saakka valtakunnallisiin sopimukseen, joiden taustalla olivat Metsätehon tuottavuus- ja maksuperustetutkimukset (Jylhä ym. 2019). Kilpailulainsäädännön muutoksen jälkeen korvaukset tehdystä työstä

ovat maksettu tarjouskilpailun perusteella. Koneyrittäjien on tunnettava tarjousten laskennassa korjuuolosuhteiden vaikutus ja koneiden ajankäytön rakenne. Toimeksiantajat ovat myös siirtäneet metsäyrittäjien vastuulle erilaisia puunkorjuun lisätöitä, joiden on hinnoittelu ongelmallista. Suunnittelu ja seuranta sekä hallinnolliset tehtävät ovat tyypillisiä lisätöitä (Jylhä ym. 2019). Lisätöitä aiheuttavat myös mittalaitteen kalibrointi ja metsänomistajien vierailujen aiheuttamat keskeytykset.

Puunkorjuun pitkän aikavälin yksikkökustannuksien kehitystä kuvataan Metsätehon tilastossa, joka seuraa kotimaisen raakapuun puunkorjuun ja kaukokuljetuksen määriä, kustannuksia puutavaralajeittain sekä korjuumenetelmien osuuksia (Kuva 23) (Strandström 2017). Nimellinen yksikkökustannus kuvaa hintojen muutosta suhteessa indeksin perusajankohtaan (Tilastokeskus 2019). Reaalin yksikkökustannus tarkoittaa tietyn perusvuoden hinnoin laskettu hintaa, josta on poistettu hintatason muutosten vaikutukset.



Kuva 23. Puunkorjuun yksikkökustannukset 1950-2016. Kustannukset on deflatoitu (eli muunnos ajassa taaksepäin) tukkuhintaindeksillä (2016=100) (Strandström 2017).

Vertailtaessa Konneveden leimikon ja Metsätehon tilastojen koneellisen korjuun yksikkökustannuksia voidaan huomata, etteivät luvut ole suoraan vertailukelpoisia. Metsätehon tilastoluvut perustuvat puunhankintayrityksiltä kerättyihin keskiarvolukuihin, joten niistä ei voida suoraan laskea tämän tutkimuksen (Konneveden) koealojen yksikkökustannuksia (Kivinen 2018). Mutta periaatteessa nekin voitaisiin näin johtaa, jos tiedettäisiin kaikkien ensiharvennushakkuiden tuotos ( $\text{m}^3/\text{vuosi}$ ) sekä hakkuukoneiden kokonaiskustannus yli koko tarkastelujakson (esim. yksi vuosi). Kivisen mukaan tuntikustannuksen pitäisi olla laskelmissa aina kiinteä, mutta tuottavuus vaihtelee hakkuumenetelmien, eli alaharvennuksen tai käytäväharvennuksen erilaisten toteutustapojen mukaan. Lisäksi vertailukohteena olisi tavanomainen yksinpuin hakkuu. Konneveden leimikoiden hakkuukone ja kuljettaja olivat samat kaikilla harvennustavoilla, jolloin yksikkökustannusten vertailu oli helpompaa. Korjuukustannusten määrittämisessä oli käytetty käyttötuntikustannuksena hakkuukoneelle 90 euroa ja metsätraktorille 70 euroa. (Vahtila 2019).

Metsäteho on esittänyt arvioita hakkuukoneen ja kuormatraktorin tuntikustannuksista täystyöllisyyden vallitessa (Poikela 2018). Kun keskikokoinen koneketju menestyy hyvin, hakkuukoneen vuosikustannukset ovat 200 000 €/vuosi ja kustannus 90 € / käyttötunti sekä kuormatraktorin vuosikustannus 150 000 €/vuosi ja 70 € / käyttötunti. Korjuuketjun vuosikustannuksiksi oli arvioitu 350 000 €/vuosi. Arviot perustuvat keskimääräisiin yksikkökustannuksiin, kun koneyksikkö työskentelee vuoden mittaan erilaisissa leimikoissa, joissa tuottavuus ja kustannustaso vaihtelevat (Kivinen 2019). Yleisesti ottaen hakkuu on sitä tuottavampaa mitä suurempia leimikon rungot ovat ja mitä enemmän runkoja poistetaan kaikissa hakkuutavoissa (Hynynen ym. 2005). Yksikkökustannuksista on laadittu myös kustannustaulukoita, joissa muuttujina ovat leimikko-olosuhteet, tuottavuus ja siihen keskeisesti vaikuttavat tekijät sekä kustannustaso.

METKA eli Metsäenergiaa kannattavasti (Rieppo ym. 2011) hankkeessa kolmessa ensiharvennusmännikössä kokeiltiin kuutta erilaista korjuumenetelmää, joissa vertailtiin erilliskorjuuta aines- ja energiapuuksi sekä aines- ja energiapuun integroitua korjuuta. Korjuukustannusten määrittämisessä käytettiin käyttötuntikustannuksena hakkuukoneelle 80 euroa ja metsätraktorille 55 euroa sekä giljotiinilla varustetulle korjuukoneelle 60 euroa (Rieppo ym. 2011). Tehotuntituottavuudet oli muutettu käyttötuntituottavuuksiksi kertomella 1,313. Hakkuiden yksikkökustannukset kuitupuulle olivat yksinpuin hakkuuna 21

– 26 €/m<sup>3</sup> ja rankapuulle joukkokäsittelylaitteella noin 20 €/m<sup>3</sup>. Joukkokäsitlevällä giljotiinihakkuulaitteella yksikkökustannus oli noin 11 €/m<sup>3</sup>. Vastaavasti metsäkuljetuksen yksikkökustannukset kuitupuulle ja rangalle olivat 7,5 – 8,5 €/m<sup>3</sup> ja giljotiinihakkuulaitteella hakatulle kokopuulle noin 9 €/m<sup>3</sup>. Korjuun kokonaiskustannuksiksi tuli menetelmittäin kuitupuulle 30 - 33, rangalle 30 – 34 ja osittain karsimattomalle puulle 24 - 26 €/m<sup>3</sup>. Giljotiinihakkuulaitteen yksikkökustannukset olivat noin 20 €/m<sup>3</sup>. Kokeiden tulosten mukaan energiapuunkorjuu ja giljotiini- menetelmät olivat 10 - 20 % edullisempia verrattuna tavanomaiseen kuitupuuhakkuuseen yksinpuin käsittelynä.

Kärhä ym. (2006) tutkivat pieniläpimittaisen puun kokopuunkorjuuta perinteisellä hakkuukone-kuormatraktori korjuuketjulla ja energiapuukorjurilla. Käyttötuntilaskelmat tehtiin pienelle hakkuukoneella (paino alle 13 tonnia), harvennuskoneelle (paino 13 – 15 tonnia) ja keskiraskaille ja raskaille hakkuukoneille (paino 15 – 17 t). Kokopuun kuljetus laskettiin vain keskiraskaan kuormatraktorin mukaan (paino 12 – 15 t). Hakkuun teho- tuntuottavuudet muutettiin käyttötuntuottavuuksiksi kertoimella 1,393, metsäkuljetuksessa 1,302 ja korjurityössä 1,360. Tutkimuksen mukaan korjattavan puuston koko vaikutti käytettävää korjuukalustoa voimakkaammin kokopuun korjuukustannuksiin. Kokopuun korjuussa nuorista metsistä esitettiin koneiden kustannuslaskelmien arvonlisäverottomat hankintahinnat, käyttötuntuottavuudet, kuormakoot ja vuosisuoritteet sekä lasketut käyttötuntikustannukset (Taulukko 7) (Kärhä ym. 2006). Esimerkiksi keskiraskaan hakkuukoneen yksikkökustannukset olivat 18 – 19 €/m<sup>3</sup>, kun korjattiin pieniläpimittaista, alle 10 cm rinnankorkeusläpimittaista puuta. Metsäkuljetuksen yksikkökustannukset olivat keskiraskaalla kuormatraktorilla noin 8 €/m<sup>3</sup>, eli yksikkökustannukset yhteensä tällä korjuuketjulla olivat noin 27 €/m<sup>3</sup>. Konneveden koealojen lähtöpuuston keskiläpimittainen rinnankorkeudelta oli noin 13 cm ja yksikkökustannukset harvesterilla olivat keskimäärin 10 €/m<sup>3</sup> ja metsäkuljetuksen yksikkökustannukset 7 €/m<sup>3</sup>. Verrattaessa vuoden 2006 kustannuksia Konneveden vuoden 2018 harvennuskäsittelyjen yksikkökustannuksiin, voidaan todeta, että kustannukset olivat samansuuntaisia. Koneellisen hakkuun ja lähikuljetuksen taksatasoa ei ole saatavilla julkisista lähteistä. Tuntihinnat ovat puhtaasti laskennallisia ja markkinahinnat tietävät vain yrittäjät ja urakanantajat.

Taulukko 7. Esimerkki koneiden kustannuslaskelmiin käytetyistä tekijöistä (Kärhä ym. 2006).

Kone	Hankintahinta, € (alv. 0 %)	Tuottavuus, m <sup>3</sup> /käyttötunti	Kuorma- koko, m <sup>3</sup>	Vuotuinen työmäärä, m <sup>3</sup>	Käyttötunti- kustannukset, €/h
<i>Hakkuukone</i>					
Pieni hakkuukone					
- kaato-kasauslaitteella	213 000	3,9		10 000	67
- rullasyöttöisellä hakkuulaitteella	225 000	4,4		11 280	72
Harvennuskone					
- kaato-kasauslaitteella	280 000	3,9		10 000	72
- rullasyöttöisellä hakkuulaitteella	292 000	4,4		11 280	77
Keskiraskas hakkuukone					
- kaato-kasauslaitteella	303 000	3,9		10 000	74
- rullasyöttöisellä hakkuulaitteella	315 000	4,4		11 280	79
<i>Keskiraskas kuormatraktori</i>	181 000	7,7	6,0	19 745	59
<i>Korjuri</i>					
Kuormatraktorialustainen					
- keskiraskas	243 000	2,5	5,0	6 410	67
- raskas	257 000	2,6	6,0	6 670	68
Pyöriväohjaamoinen					
- raskas	395 000	2,8	7,0	7 180	78

#### 4.5 Yleistettävyys

Tuloksia voidaan yleistää samantyyppisiin männikön ensiharvennuksiin, joissa olosuhteet muistuttavat koeleimikon olosuhteita maaston ja puuston osalta. Hakkuukone oli standardikone, joten yleistettävyys on hyvä, jos kuljettaja olisi yhtä kokenut kuin kokeissa hakannut kuljettaja. Verrattaessa tuloksia muihin vastaaviin tutkimuksiin, havaittavissa oli selvää johdonmukaisuutta valikoivan harvennuksen ja käytäväharvennusmenetelmien työvaiheissa ja niiden osaprosessien ajanmenekeissä sekä tuottavuuksissa. Syitä tutkimusten välisiin eroihin olivat mm. se, että energiapuunkorjuusta on tehty useita tutkimuksia, joissa puuston koko ja poistettavat määrät olivat huomattavasti suurempia. Esimerkiksi Jylhän ja Bergströmin (2016) energiapuun tuottavuustutkimuksessa tiheiltä koi-vikoilta puuston keskimääräinen tiheys oli 35 200 runkoa hehtaarilla ja rinnankorkeusläpimitta 45 mm. Energiapuun korjuun tutkimukset ovat olleet ajankohtaisia kymmenen viime vuoden aikana, koska taimikoiden ja nuorten metsien hoitoa on laiminlyöty johtuen mm. korkeista korjuukustannuksista (Bergström 2009). Näin ollen olisi tarve kehittää kustannustehokkaampia teknologioita ja menetelmiä ensiharvennusoperaatioihin. Esimerkiksi Bergström oli kehittänyt prototyyppikaatopään käytäväharvennusmenetelmään, jota oli testattu kenttäolosuhteissa (Bergström ym. 2012). Tuloksia pidettiin rohkaisevina kehittää uutta käytäväharvennustekniikkaa.

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

### 5.1 Käytäväharvennus

#### 5.1.1. Käytäväharvennusmenetelmä

Tämän tutkimuksen perusteella käytäväharvennusmenetelmä on edullisempi korjuumenetelmä verrattuna perinteiseen valikoivaan harvennukseen. Tilastollisissa analyyseissä havaittiin, että harvennusmenetelmien tuottavuuksien eroja selitti merkittävästi ainoastaan rungon koko, joka oli suurempi käytäväharvennuksilla. Aikaisempaan tutkimustietoon (esim. Bergström ym. 2010) verrattuna päätulokset olivat samansuuntaisia. Käytäväharvennusmenetelmällä, jossa käytävien paikat oli ennalta merkitty, yllettiin parhaimpaan tuottavuuteen. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan ole mukana käytävien paikkojen ennalta merkitsemiseen käytettyä työaikaa, jonka lisääminen kasvattaisi jonkin verran menetelmän kokonaiskustannuksia. Käytäväharvennusmenetelmää, jossa kuljettaja valitsi käytävien paikan, voidaan pitää lupaavana menetelmänä, kun kehitetään työmenetelmää edelleen ja nojataan kuljettajan ammattitaitoon. Tämän tutkimuksen johtopäätös oli, että käytäväharvennus on tuottava ja kehittämisen arvoinen menetelmä nuorten metsien ensiharvennukseen sekä pieniläpimittaisen puun korjuuseen. Perinteisellä valikoivalla alaharvennusmenetelmällä hakkuun osuus korjuun kustannuksista on noin puolet ja käytäväharvennusmenetelmällä on mahdollista alentaa ensiharvennusmetsien korjuukustannuksia jonkin verran. Käytäväharvennushakkuilla voidaan käyttää nykyistä korjuutekniologiaa, mutta tuottavuuden edelleen parantamiseksi olisi kehitettävä uusia laitteita ja työmenetelmiä erityisesti käytäväharvennusta varten.

Tuloksia voidaan hyödyntää käytännössä vertailemalla niitä toisiin tutkimuksiin sekä käytäväharvennusteknologian ja työmenetelmien kehittämiseen. Tutkimustuloksia arvioitaessa on kuitenkin huomioitava, että leimikot, puusto ja kasvupaikat ovat erilaisia, eikä näitä tuloksia voida soveltaa kaavamaisesti. Työntutkimuksen keskeisin ongelma onkin tulosten yleistettävyys (Uusitalo 2003). Leimikkotekijät ja työntekijän ominaisuudet vaikuttavat voimakkaasti työpanokseen, eikä muutamalla tutkimuksella saada yleistettäviä tuloksia. Käytäväharvennusmenetelmä on uusi ja kokeiluasteella, mutta kuten tutkimuk-

sen tulokset osoittavat, se sopii suomalaisiin korjuuolosuhteisiin. Tarvitaan kuitenkin lisää käytäväharvennustutkimuksia erilaisissa leimikoissa ja erilaisilla hakkuukoneilla, että saadaan käyttöön monipuolisempi tutkimusaineisto. Käytäväharvennustutkimukset ovat olleet tähän saakka energiapuunkorjuupainotteisia, kuten esimerkiksi Fixteri FX15a -kopuupaalaimen tutkimus (Nuutinen ja Björheden 2014).

### ***5.1.2. Tutkimusmenetelmät***

Käytäväharvennuksen Konneveden kehittämishankkeen testimetsikön koejärjestelyt ja testit oli tehnyt kokenut työntutkija, jolla on noin 15 vuoden kokemus visuaaliseen havainnointiin perustuvasta manuaalisesta aikatutkimusmenetelmästä (Nuutinen & Björheden 2014). Koejärjestelyillä oli varmistettu, että tutkimuksella saatiin luotettava ja yksityiskohtainen tutkimusaineisto. Tämän tutkimuksen tekijä analysoi leimikolta toimitettua aineistoa ilman käytännön havaintoja maastossa koneesta, kuljettajasta ja hakkuuympäristöstä. Jälkikäteen arvioituna vierailu testimetsikössä oli ollut opettavaista ja hyödyllistä. Aineiston käsittely ja koostaminen tehtiin Windows-sovelluksilla, sekä tilastollisten menetelmien Excelillä ja SPSS- sovelluksella. Varsinainen aikatutkimusaineiston käsittely on tehty Excel pohjaisella Aikakone 1.03 -aikatutkimussovelluksella, joka oli tärkeä ja tehokas työkalu työvaiheiden ajan mittaamiseen. Kaikilla käytetyillä ohjelmilla oli suuri merkitys ajanmenekin ja tuottavuuden tutkimuksessa, koska niillä tuotetut tulokset olivat tarkkoja ja niistä voitiin helposti tuottaa erilaisia aineistoja.

Nykytietämys metsäkoneiden tuottavuudesta ja kustannuksista perustuu lyhytaikaisiin aikatutkimuksiin ja vanhentuneeseen tietoon koneiden ajankäytöstä (Jylhä ym. 2019). Tarvitaan uusia tutkimuksia, että saadaan ajantasaista tietoa hakkuukoneiden tuottavuuksista ja korjuuolosuhteista. Hakkuukoneen aikatutkimuksissa on mahdollista käyttää automaattista työajanmittausta (Nuutinen 2013). Hakkuukoneen CAN- väylädataan perustuvalla aikatutkimuksella voidaan kerätä laaja tutkimusaineisto tehokkaasti ja tarkasti. Prossidatasta voidaan saada yksityiskohtaista tietoa korjuuoperaatioista, kuten rungon mitoista, ajankulutuksesta korjuutyössä ja hakkuukoneen liikkeistä ja polttoaineen kulutuksesta. Jylhän ym. (2010) koneellisen hakkuun seurantatutkimuksessa hyödynnettiin Stanford Classic- standardin (Skogforsk 2010) mukaisia ajanseuranta- ja tuotantotiedostoja,

jotka tallentuivat hakkuukoneelle korjuulohkoittain. Tutkimuksen mukaan metsätyön tutkimus on murrosvaiheessa. Metsäkoneet keräävät valtavan määrän tietoa, jota voitaisiin käyttää tutkimuksissa ja yritysten kehittämisessä. Metsäkonetieto on suurelta osin standardisoitua, mutta eri metsäkonevalmistajien tiedonkeruun muuttujat vaihtelevat niin, että tarvittaisiin tiedonkeruun yhdenmukaistamista. Hakkuukoneen kuljettajien kouluttamiseen pitäisi myös kiinnittää huomioita, sillä huolimattomasti tehty tietojen rekisteröinti heikentää aineiston laatua.

Pienten ns. kypäräkameroiden käyttö lisää aika- ja tuottavuustutkimusten tarkkuutta verrattuna aikaisempiin kannettaviin videokameroihin verrattuna (Jylhä ja Bergström 2016). Kypäräkameroiden etuja ovat pieni koko, muunneltavuus ja monipuolinen käytettävyys mobiililaitteiden kanssa. Konneveden työntutkimuksessa käytettiin kypäräkameraa, joka oli kiinnitetty kuljettajan päähän. Kamera kuvasi kuljettajan katseen suuntaan, kohti hakkuulaitteen työskentelyä leimikolla. Mitattaessa ajanmenekkiä videoilta, voitiin työskentelyä analysoida kuljettajan näkökulmasta ja myös kuulla kuljettajan kommentteja työn suunnittelusta. Hakkuukoneen työliikkeet heiluttivat koneenkuljettajaa ja se häiritsi josain määrin kellotusta. Kamera olisi mahdollista asentaa myös ohjaamon rakenteisiin kuljettajan taakse ja toinen kamera kiinnittää hakkuukoneen puomiin. Toisen kameran videoilta voitaisiin tarkastaa esimerkiksi epäselvät työvaiheet, kun hakkuulaite työskentelee esimerkiksi katvealueella.

## **5.2 Pohdintaa Konneveden tutkimusmetsästä**

### **5.2.1. Korjuujälki**

Hyvä korjuujälki on edellytys harvennuksesta saatavien hyötyjen toteutumiselle ja metsän suotuisalle kehitykselle (Hynynen ym. 2005). Huono korjuujälki aiheuttaa kasvu- ja laatutappiota ja lisää tuuli-, lumi- ja hyönteistuhojen riskiä. Yleisesti korjuujäljen ongelmana on suuri leimikoiden välinen vaihtelu, sekä se että suurin osa huonosta korjuujäljestä johtuu väärästä korjuuajankohdasta tai kokemattomasta kuljettajasta. Puustovaurioiden aiheuttamien kasvitappioiden osuus korjuukustannuksista on 3 % ja lahon aiheuttamien menetysten osuus 15 % (Hynynen ym. 2005). Puustovaurioiden merkitys on suurempi kuusella ja koivulla kuin männyllä. Konneveden leimikko kasvoi pääosin mäntyä ja koealoilla havaittiin videoanalyysien perusteella vain vähäisiä puustovaurioita tai jos



ollenkaan. Konneveden koealojen ajourat olivat hyvin kantavia ja korjuuolosuhteet kuivat. Ajourapainaukset jäivät mataliksi, eikä syviä painanteita havaittu. Ajouran leveyttä, ajouravälien leveyttä tai vaihteluita ei voitu videoiden perusteella analysoida. Konneveden testileimikon koealojen maaston ja puuston ominaisuuksien välillä ei ollut suurta vaihtelua ja korjuujälki täyttää metsähoitosuositukset (Nuutinen 2019).

### **5.2.2. Harvennusvoimakkuus**

Hyvän metsänhoidon suositusten mukaan nuorten kasvatusmetsien ensiharvennusmallit perustuvat valtapituuteen ja runkolukuun (Äijälä ym. 2014). Männyn ensiharvennus alaharvennuksena tuoreella- tai kuivahkolla kankaalla suositellaan tehtäväksi 13 – 15 metrin valtapituudessa ja jäävän puuston runkoluvuksi suositellaan 1050 – 1300 kpl/ha, kun rungon keskiläpimitta on 13 cm rinnankorkeudelta. Männyntaimikolle harvennuksen tiheydeksi taimikonhoidon jälkeen suositellaan 2000-2200 kpl/ha tuoreella tai kuivahkolla kankaalla. Metsäkeskuksen virallinen metsänhoitosuositusten mukainen tarkastus ensiharvennuksissa tehdään runkoluvulla ja puuston pohjapinta-alalla ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ) (Nuutinen 2019). Pohjapinta-ala on metsikön yksittäisten puiden rinnankorkeudelta mitattujen puiden poikkileikkauspinta-alojen summa ja se ilmaistaan neliömetreinä ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ) (Ärölä 2018).

Konneveden testimetsikön koealojen puustotiedot on mitattu ennen hakkuuta ja hakkuun jälkeen puustonmittauskoealoilta (Taulukot 8 ja 9) (Nuutinen ym. 2019). Puuston keskimääräinen runkoluku hakkuun jälkeen jää hieman alle suositellun 1050 – 1300 kpl/ha kaikilla harvennusmenetelmillä. Runkolukuja voidaan kuitenkin pitää hyväksyttävänä, koska puuston runkoluku ennen hakkuuta on ollut hieman alempi kuin taimikonhoidon jälkeinen tavoitetiheys 2000-2200 kpl/ha vastaavalla kasvupaikalla.

Tarkasteltaessa harvennusmenetelmien runkolukusarjojen (kpl/ha) puuston rakenteen eroja harvennuksen jälkeen havaitaan, että käytäväharvennusmenetelmien pohjapinta-alat ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ) ovat noin 7 % suuremmat verrattuna valikoivaan harvennukseen.

Taulukko 8. Konneveden tutkimusmetsikön puustotiedot ennen hakkuuta. Rinnankorkeusläpimitan (d 1.3) raja-arvona 7,0 cm kuoren päältä (Nuutinen ym. 2019)

Menetelmä	Runkoja / ha	PPA m <sup>2</sup> /ha	Tilavuus m <sup>3</sup> /ha	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Rungon keskikoko dm <sup>3</sup>	Pääpuulaji %
M1 = Valikoiva harvennus	1620	23	138	13,2	11,4	85,4	Mä 83 %
M2 = Osittain kuljettajavalintainen käytäväharvennus	1688	25	150	13,2	11,4	88,7	Mä 78 %
M3 = Kuljettajavalintainen käytäväharvennus	1592	22	131	12,8	11,2	82,0	Mä 83 %

Taulukko 9. Konneveden tutkimusmetsikön puustotiedot hakkuun jälkeen. Rinnankorkeusläpimitan (d 1.3) raja-arvona 7,0 cm kuoren päältä (Nuutinen ym. 2019)

Menetelmä	Runkoja / ha	PPA m <sup>2</sup> /ha	Tilavuus m <sup>3</sup> /ha	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Rungon keskikoko dm <sup>3</sup>	Pääpuulaji %
M1 = Valikoiva harvennus	816	14	83	15,5	12,1	102,2	Mä 82 %
M2 = Osittain kuljettajavalintainen käytäväharvennus	1006	15	92	15,0	11,9	91,2	Mä 82 %
M3 = Kuljettajavalintainen käytäväharvennus	952	15	90	15,2	12,0	94,6	Mä 81 %

### 5.2.3. Puuston rakenne

Harvennusmenetelmä vaikuttaa puuston rakenteeseen ja ryhmittyyneisyyteen. Kohtisuorassa käytäväharvennusmenetelmässä ajourien välialueelle muodostuu harvennuskäytäviä, joihin syntyvää tilaa reunapuusto hyödyntää kasvussaan. Ajourien ja harvennuskäytävien reunapuusto pyrkii täyttämään syntyneet avoimet alueet. Käytäväharvennuksen jälkeen puuston ryhmittyyneisyys on erilainen verrattuna valikoivaan harvennukseen, kunnes puuston rakenne myöhemmin tasoittuu. Harvennuskäytävien tulevaa kehitystä voidaan arvioida samoilla periaatteilla kuin ajourien tai hakkuu-urien vaikutusta puuntuotokseen. Ajourat vaikuttavat puuntuotokseen pääasiassa vain nuorissa ensiharvennuksen jälkeisissä kasvatusmetsissä ja myöhemmin metsän kasvaessa, ajourilla ei ole enää vaikutusta tuotokseen (Hynynen ym. 2005).

Konneveden testimetsikössä tutkittiin (LUKE) myös puuston ja puulajien rakennetta ennen hakkuuta sekä hakkuun jälkeen (Nuutinen ym. 2019). Ennen hakkuuta rinnankorkeusläpimitoiltaan 100-160 mm puiden osuus oli valikoivan harvennuksen koealoilla keskimäärin 70 % (1140 kpl/ha), osittain kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen koealoilla 59 % (987 kpl/ha) ja kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen koealoilla 66 % (1000 kpl/ha) (Liite 1) (Nuutinen ym. 2019). Hakkuun jälkeen rinnankorkeusläpimitoiltaan 100-160 mm puiden osuus oli valikoivan harvennuksen koealoilla keskimäärin 61 % (498 kpl/ha), osittain kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen koealoilla 60 % (585 kpl/ha) ja kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen koealoilla 58 % (538 kpl/ha) (Liite 2) (Nuutinen ym. 2019).

#### 5.2.4. Alikasvos

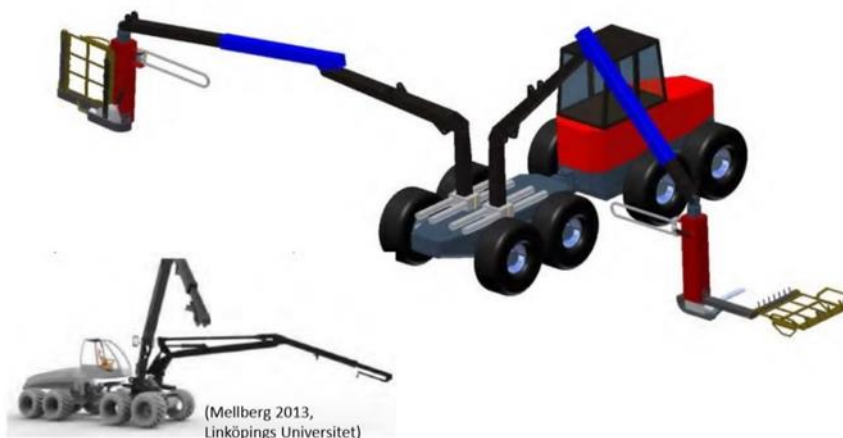
Ennakkoraivauksen tavoitteena on parantaa korjuuoloja ja vähentää puustovaurioiden riskiä (Äijälä ym. 2014). Tiheä alikasvos haittaa hakkuukoneen työskentelyä ja hakkuukoneen tuottavuus pienenee alikasvoksen määrän kasvaessa (Hynynen ym. 2005). Alle 1500 rungon alikasvos hehtaaria kohden ei juuri vaikuta hakkuun ajanmenekkiin. Alikasvokseksi luetaan kantoläpimitaltaan 1-5 cm kokoiset puut. Hynynen ym. (2005) mukaan valikoivalla harvennuksella 2000 kpl alikasvospuuta hehtaarilla laskee tuottavuutta 3-4 %, 3000 kpl/ha laskee tuottavuutta 8-10 % ja 6000 kpl/ha alikasvospuuta laskee tuottavuutta 10-12 %. Kun alikasvoksen määrä on 10000 kpl/ha, tuottavuus laskee jo 15-20 %. Konneveden tutkimusmetsikön alikasvoksen tiheys oli keskimäärin 1908-4350 kpl/ha harvennuskäsittelyittäin (Taulukko 10). Edellä esitettyjen arvojen perusteella voidaan esittää, että tuottavuus on voinut pienentyä valikoivalla harvennuskäsittelyllä M1 ja käytäväharvennuskäsittelyllä M2 noin 10 %, kun alikasvoksen tiheys oli noin 4000 kpl/ha. Käytäväharvennuskäsittelyllä M3 tuottavuuden lasku on voinut olla 3-4 % luokkaa hehtaaria kohti.

Taulukko 10. Konneveden tutkimusmetsikön alikasvospuusto ennen harvennuskäsittelyjä.

Harvennuskäsittely	Alikasvoksen keskimääräinen tiheys kpl / ha	Alikasvoksen keskiläpimitta (mm)
M1	4350	11
M2	3925	9
M3	1908	12

### 5.3. Tulevaisuuden jatkotutkimustarpeet

Nykyään tutkijat ovat olleet kiinnostuneita nuorten metsien ensiharvennusmenetelmistä, kuten LUKE:n käytäväharvennusmenetelmän kehittämishanke osoittaa (Nuutinen 2017). Tuotekehitystä olisi tehtävä erityisesti käytäväharvennusmenetelmää varten kehitettyihin laitteisiin, joista esimerkkinä mainittakoon Dan Bergströmin kehittämä prototyyppikaa-tolaite ja idea kaksoiskaatopuomilla varustetusta hakkuukoneesta (Kuva 24) (Bergström 2014). Tutkimusten mukaan prototyypit ovat osoittaneet, että käytäväharvennukseen voi- daan kehittää tehokkaita laitteita. Nykyisiä hakkuulaitteita voidaan käyttää perustana ke- hitettäessä käytäväharvennusteknologiaa. Uusien laitteiden kanssa olisi kehitettävä myös työmenetelmiä, koska myös niillä on suuri vaikutus tehokkuuteen. Metsäkonevalmista- jien näkemysten mukaan uusien laitteiden kehittämisessä tärkeintä on innovointi, jossa tuotetaan uudenlaisia teknisiä ratkaisuja ja niitä tukevia palvelukonsepteja (Hallongren ja Rantala 2010). Tutkimuksen mukaan uusien laitteiden kehitystyössä karsitaan joukosta kehityskelpoisimmat ja parannellaan niitä edelleen. Prototyyppien kehittämisen jälkeen seuraa kysynnän herättäminen niin, että tuote saadaan markkinoille. Tärkeää myös on, että uuden laitteen ja ehkäpä uuden työmenetelmän edut tunnetaan ja niitä osataan hyö- dyntää markkinoinnissa (Hallongren ja Rantala 2010). Tuotekehitys vaatii yhteistyötä metsäkonevalmistajien ja asiakkaiden kanssa; lisäksi tarvitaan rahoittajia ja puolueetto- mien tutkimusorganisaatioiden tukea. Edellä mainittuja uusien innovaatioiden työkaluja voidaan käyttää myös käytäväharvennusteknologian ja työmenetelmien kehittämiseen.



Kuva 24. Prototyyppimalli käytäväharvennushakkuulaitteesta ja kaksoiskaatopuomilla varuste- tusta hakkuukoneesta (Bergström 2014).

## 6. LÄHTEET

- Bergström, D. 2009. Techniques and systems for boom corridor thinning in young dense forests. [Dissertation]. Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Forest Sciences. No. 2009:87. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/38444645\\_Techniques\\_and\\_Systems\\_for\\_Boom\\_Corridor\\_Thinning\\_in\\_Young\\_Dense\\_Forests](https://www.researchgate.net/publication/38444645_Techniques_and_Systems_for_Boom_Corridor_Thinning_in_Young_Dense_Forests). [Viitattu 13.1.2019].
- Bergström, D. 2014. Effects of new / future harvesting technologies on supply chain cost for young forest. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/tapahumat/2014/biorefine/pdf/bergstrom.pdf>. [Viitattu 29.9.2019].
- Bergström, D. Bergsten, U. & Nordfjell, T. 2010. Comparison of boom-corridor thinning and thinning from below harvesting methods in young dense scots pine stands. *Silva Fennica* 44(4): 669–679. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/228827523\\_Comparison\\_of\\_Boom-Corridor\\_Thinning\\_and\\_Thinning\\_From\\_Below\\_Harvesting\\_Methods\\_in\\_Young\\_Dense\\_Scots\\_Pine\\_Stands](https://www.researchgate.net/publication/228827523_Comparison_of_Boom-Corridor_Thinning_and_Thinning_From_Below_Harvesting_Methods_in_Young_Dense_Scots_Pine_Stands). [Viitattu 10.1.2019].
- Bergström, D. Bergsten, U. Hörnlund, T. & Nordfjell, T. 2012. Continuous felling of small diameter trees in boom-corridors with a prototype felling head. *Scandinavian journal of forest research* 27(5): 474–480. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.researchgate.net/>. [Viitattu 7.1.2019].
- Bergström, D. Bergsten, U. Nordfjell, T. & Lundmark, T. 2007. Simulation of geometric thinning systems and their time requirements for young forests. *Silva Fennica* 41(1): 137–147. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://silvafennica.fi/article/311>. [Viitattu 6.1.2019].
- Dahlin, B. 2019. Proessori Bo Dahlin, Metsätieteiden osasto, Helsingin yliopisto. Sähköpostiviesti 15.10.2019.
- Dahlin, B. 2019. Proessori Bo Dahlin, Metsätieteiden osasto, Helsingin yliopisto. Sähköpostiviesti 20.10.2019.

- Hallongren, H. & Rantala, J. 2010. Metsänhoitolaitteiden kansainvälinen markkinapotentiaali ja teknologian kaupallistaminen. Metlan työraportteja 179. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2268-5>. [Viitattu 22.2.2019].
- Hynynen, J. 2007. Harvennushakkuut. Teoksessa Metsäkoulu. 6. painos. Toim. S: Rantala. Hämeenlinna: Metsäkustannus Oy, s. 105–122.
- Hynynen, J. Valkonen, S. & Rantala, S. 2005. Tuottava metsänkasvatus. Metsäntutkimuslaitos. Metsäkustannus Oy, Hämeenlinna. 221 s.
- Hänninen, H. 2018. Metsänomistus. Teoksessa Tapion taskukirja. 26 uud. p. Toim. S. Rantala. Julk. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Helsinki: Metsäkustannus Oy, s. 21–28.
- Isomäki, A. & Väisänen, J. 1980. Harvennustavan vaikutus kasvatettavaan puustoon ja harvennuskertymään. Folia Forestalia 450. 14 s. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://jukuri.luke.fi/handle/10024/522033>. [Viitattu 5.1.2019].
- Jylhä, P. & Bergström, D. 2016. Productivity of harvesting dense birch stands for bioenergy. Biomass and bioenergy 88: 142–151. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.researchgate.net>. [Viitattu 7.1.2019].
- Jylhä, P. Jounela, P. Koistinen, P. & Korpunen, H. 2019. Koneellinen hakkuu: Seuranta-tutkimus. Luonnonvara ja biotalouden tutkimus LUKE. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/543864>. [Viitattu 25.9.2019].
- Kariniemi, A. Vartiamäki, T. 2010. Hakkuukoneentietojärjestelmä tutkimustiedon lähteenä. Metsätehon raportti 212, 1.1.2010. ISSN 1796-2374. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/hakkuukoneen-tietojarjestelma-tutkimustiedon-lahteen/> [Viitattu 24.1.2019].
- Karppinen, H. Kraama, M. Ovaskainen, V. Hujala, T. & Leppänen, J. Metsänomistajien käsitykset metsätalouden kannattavuudesta ja sen mittaamisesta. 2016. Metsätieteen aikakauskirja, 1/2016: 15–32. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff16/ff161015.pdf>. [Viitattu 8.1.2019].

- Kettunen, A. 2014. Systemaattisen harvennuksen periaate. Metka-koulutus. TTS Työteho-seura. Saatavissa: <https://docplayer.fi/10344206-Systemaattisen-harvennuksen-periaate-metka-koulutus-12-9-2014-hartola-arto-kettunen-tts.html>. [Viitattu 13.1.2019].
- Kivinen, V-P. 2018. Lehtori Veli-Pekka Kivinen, Metsätieteiden osasto, Helsingin yliopisto. Sähköpostiviesti 6.12.2018.
- Kivinen, V-P. 2019. Lehtori Veli-Pekka Kivinen, Metsätieteiden osasto, Helsingin yliopisto. Sähköpostiviesti 19.2.2019.
- Kivinen, V-P. 2019. Lehtori Veli-Pekka Kivinen, Metsätieteiden osasto, Helsingin yliopisto. Sähköpostiviesti 15.9.2019.
- Kokkarinen, J. 2012. Koneellinen puunkorjuu – hallitusti hyvään lopputulokseen. Metsäteho Oy. Joensuu. 111 s.
- Konttinen, H. & Drushka, K. 1997. Metsäkoneiden maailman historia. Timberjack Group Oy. Otavan kirjapaino, Keuruu. 254 s.
- Korpilahti, E. Metsänomistuksen pirstoutuminen ja metsikkötalous. 2009. Metsätieteen aikakauskirja, 3/2009: 181–182. [Verkkodokumentti]. Saatavilla: <https://metsatieteenaikakauskirja.fi/article/6758>. [Viitattu 12.1.2019].
- Kärhä, K. Keskinen, S. Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Metsäteho Oy. Metsätehon raportti 193. Kokopuun korjuu nuorista metsistä. [Verkkodokumentti]. Saatavissa. <http://www.metsateho.fi/kokopuun-korjuu-nuorista-metsista/> [Viitattu 14.9.2019].
- Luonnonvarakeskus Luke 2018. Kehittämishanke 2017 - 2018. Käytäväharvennus - menetelmä nuorten männiköiden ensimmäiseen koneelliseen harvennukseen. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/106872403-Kehittamishanke-kaytavaharvennus-menetelma-nuorten-mannikoiden-ensimmaiseen-koneelliseen-harvennukseen.html>. [Viitattu 11.1.2019].
- Luonnonvarakeskus Luke 2018. Käytäväharvennus on lupaava menetelmä nuorten männiköiden harvennukseen. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.luke.fi/uutiset/kaytavaharvennus-on-lupaava-menetelma-nuorten-mannikoiden-harvennukseen/>. [Viitattu 10.1.2019].

- Luonnonvarakeskus Luke 2018. Valtakunnan metsien 12. inventointi (VMI12): Puuvarat kasvavat edelleen. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.luke.fi/uutiset/valtakunnan-metsien-12-inventointi-vmi12-puuvarat-kasvavat-edelleen/>. [Viitattu 10.1.2019].
- Menetelmävaratieto 2019. Regressioanalyysi. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/regressio/analyysi.html>. [Viitattu 20.10.2019].
- Nuutinen, Y. 2013. Possibilities to use automatic and manual timing in time studies on harvester operations [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/280562927\\_Possibilities\\_to\\_use\\_automatic\\_and\\_manual\\_timing\\_in\\_time\\_studies\\_on\\_harvester\\_operations](https://www.researchgate.net/publication/280562927_Possibilities_to_use_automatic_and_manual_timing_in_time_studies_on_harvester_operations). [Viitattu 1.10.2019].
- Nuutinen, Y. 2017. Tutkija MMT Yrjö Nuutinen, Joensuun Luonnonvarakeskuksen Luonnonvarat- ja biotalousyksikkö. Kehittämishanke 2017–2018: Käytäväharvennus – Menetelmä nuorten männiköiden ensimmäiseen koneelliseen harvennukseen. Hankkeen tausta & toteutus & tämänhetkinen tilanne. Ohjausryhmän kokous 7.9.2017, Luonnonvarakeskus LUKE, Joensuu. Sähköpostiviesti 9.5.2018.
- Nuutinen, Y. 2018. Tutkija MMT Yrjö Nuutinen, Joensuun Luonnonvarakeskuksen Luonnonvarat- ja biotalousyksikkö, Luonnonvarakeskus Luke. Sähköpostiviesti 7.11.2018.
- Nuutinen, Y. 2019. Tutkija MMT Yrjö Nuutinen, Joensuun Luonnonvarakeskuksen Luonnonvarat- ja biotalousyksikkö, Luonnonvarakeskus Luke. Sähköpostiviesti 30.9.2019.
- Nuutinen, Y. & Björheden, R. 2014. Fixteri FX15a –kokopuupaalaimen tuottavuus ja työprosessit nuorten mäntyvaltaisten metsien energiapuun korjuussa. Metlan työraportteja 281. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp281.pdf>. [Viitattu 8.12.2018].
- Nuutinen, Y. Saksa, T. & Saarinen, V-M. 2018. Harvennustavan vaikutus korjuun tehokkuuteen, harvennuskertymään ja kasvatettavaan puustoon nuorissa – kirjallisuuskatsaus. Sähköpostiviesti 9.5.2018.

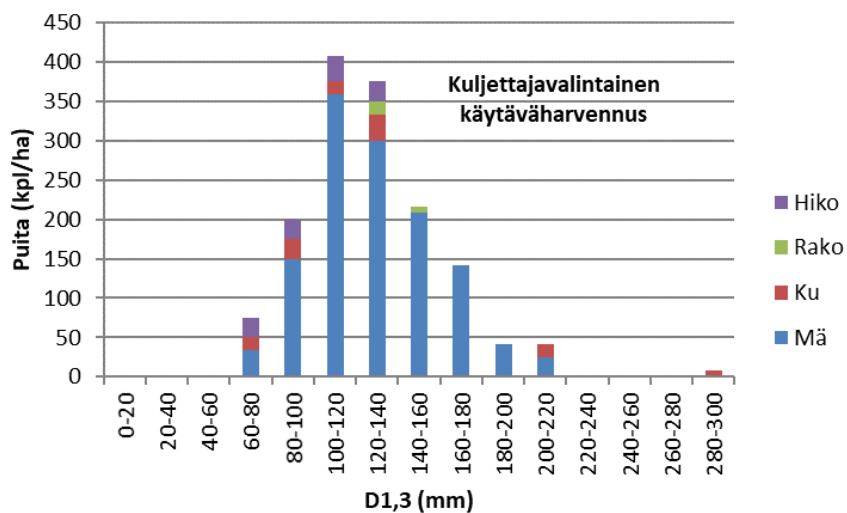
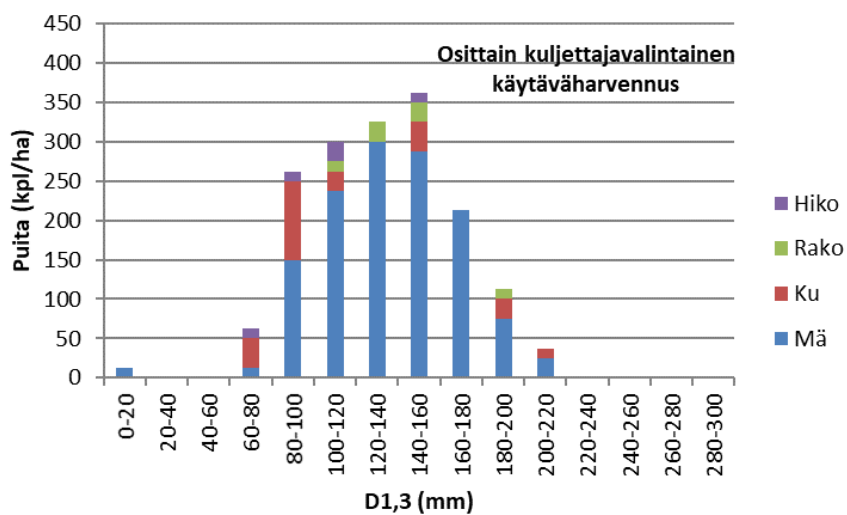
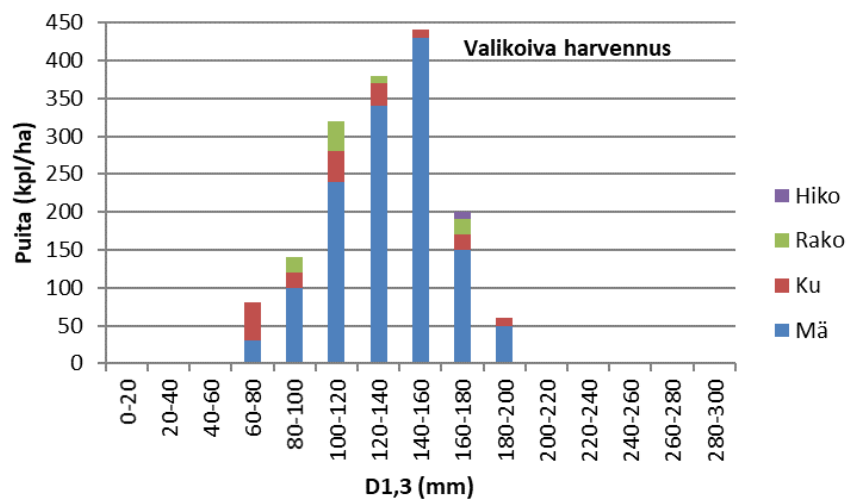


- Nuutinen, Y. Hassinen, U. Karppinen, H. Leskinen, L. Remes, M. Tiitinen-Salmela, S. Schildt, J. Miina, J. Saksa, T. Kautto, K. Jaatinen, R. Lievonen, R. Muhonen, T. & Kokko, T. 2019. Käytäväharvennus – menetelmä nuorten metsien ensimmäiseen koneelliseen harvennukseen. Kehittämishankkeen loppuraportti. Luonnonvarakeskus (LUKE), Suomen metsäkeskus & UPM. Sähköpostiviesti 1.10.2019.
- Poikela, A. 2018. Puunkorjuun kustannusdynamiikka. Metsäteho. ME-235 kurssimateriaali. Julkaisematon.
- Ponsse Oyj. 2019. Harvesterit ja harvesteripäät. [Verkkosivut]. Saatavissa: <https://www.ponsse.com/fi>. [Viitattu 21.2.2019].
- Rantala, J. 2012. Metsänhoidon kustannustehokkuuden merkitys metsätaloudessa. 2012. Metsätieteen aikakauskirja, 2/2012: 87–89. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article6457.pdf>. [Viitattu 8.1.2019].
- Riikilä, M. 2010. Taimikonhoito. Metsäkustannus Oy. 85 s.
- Riikilä, M. 2014. Moottorisaha sata vuotta Suomessa. Metsäkustannus Oy ja Mikko Riikilä. Metsäkustannus Oy, Latvia. s. 215.
- Rieppo, K. Mutikainen, A. & Jouhiaho, A. 2011. Energia- ja ainespuun korjuu nuorista metsistä. TTS:n julkaisuja 411 (2011). TTS Työtehoseura ry. Vaasa. 102 s.
- Strandström, M. 2017. Metsäteho Oy. Puun korjuu ja kaukokuljetus vuonna 2016. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/puunkorjuu-ja-kaukokuljetus-vuonna-2017/>. [Viitattu 18.2.2019].
- Skogforsk. 2010. StanForD. [Verkkosivut]. Saatavissa: <https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/>. [Viitattu 25.1.2019].
- Tilastoapu. 2012. Datan analysointi. [Verkkosivut]. Saatavissa: <https://tilastoapu.wordpress.com>. [Viitattu 18.10.2019].
- Tilastokeskus. 2019. Käsitteet. Saatavissa: <https://www.stat.fi/meta/kas/index.html>. [Viitattu 22.9.2019].
- Uusitalo, J. 2003. Metsäteknologian perusteet. Metsälehti Kustannus ja Jori Uusitalo. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. Karisto Oy. Hämeenlinna. 230 s.

- Vahtila, M. 2019. Poistettavien puiden etukäteisvalinnan vaikutus hakkuun tuottavuuteen ja laatuun koneellisessa harvennushakkuussa. Pro gradu. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/301689>. [Viitattu 17.9.2019].
- Äijälä, O. Kuusinen, M. & Koistinen, A. 2010. Energiapuun korjuu ja kasvatus. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy. Sastamala. 56 s.
- Äijälä, O. Koistinen, A. Sved, J. Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) 2014. Hyvän metsänhoidon suositukset – METSÄNHÖITO. Metsätalouskeskus Tapion julkaisuja.
- Ärölä, E. 2018. Metsävarojen mittaust ja arviointi. Teoksessa Tapion taskukirja. 26 uud. p. Toim. S. Rantala. Julk. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Helsinki: Metsäkustannus Oy, s. 249.

# LIITTEET

**Liite 1.** Rinnankorkeusläpimitoiltaan 100-160 mm puiden osuus ennen hakkuuta.



**Liite 2.** Rinnankorkeusläpimitoiltaan 100-160 mm puiden osuus hakkuun jälkeen.

